

BEITRÄGE

ZUR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE

DER

MACULA LUTEA DES MENSCHEN

VON

DR. FRIEDRICH DIMMER,
PRIVATDOCENT FÜR AUGENHEILKUNDE AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

MIT 12 FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE
1894.



BEITRÄGE

ZUR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE

DER

MACULA LUTEA DES MENSCHEN

VON

DR. FRIEDRICH DIMMER,
PRIVATDOCENT FÜR AUGENHEILKUNDE AN DER WIENER UNIVERSITÄT.

MIT 12 FIGUREN IM TEXT UND EINER TAFEL.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE
1894.

Druck von Rudolf M. Rohrer in Brünn.

Vorwort.

Meine im Jahre 1891 erschienene Monographie „Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut“ bildete die Anregung zu der vorliegenden Arbeit, welche sich in ihrem ersten Theile genauer mit den anatomischen Verhältnissen der Retina in der Gegend der Macula beschäftigt. Derjenige, welcher die erwähnte Monographie gelesen hat, wird in diesem Theile des Buches manches ihm bereits bekannte finden, da ich mir auch erlaubt habe, auf die dort bebeschriebenen Reflexerscheinungen zurückzugreifen, um so ein möglichst vollständiges Bild des Baues der Fovea zu geben, was durch die anatomische Untersuchung allein nicht erreicht werden kann. Diese war zunächst auf die Grösse und Gestalt der Fovea und auf die Verhältnisse der einzelnen Schichten daselbst gerichtet, doch kann ich auch einige Beiträge zur feineren Structur der Retina dieser Gegend liefern. Ferner sei hier auf die mit möglichster Genauigkeit ausgeführten Abbildungen von Schnitten der Retina durch die Fovea hingewiesen, welche ich wohl mit Recht als die ersten richtigen Bilder dieser Art bezeichnen kann.

Im zweiten, physiologischen Theile der Arbeit habe ich mich bemüht, aufgrund der im ersten Theile gewonnenen Anschauungen die entoptischen Erscheinungen in der Maculagegend zu erklären und dieselben zu Schlüssen über die Lage der lichtempfindenden Schichte zu verwerten. Durch die hier auftauchenden Fragen wurde ich auch veranlasst, einige Untersuchungen über die gelbe Farbe der Retina in der Gegend der Macula anzustellen, deren Resultate im anatomischen Theile enthalten sind. Ferner wurde die Retina auf die in ihren einzelnen Schichten vorkommende Doppelbrechung untersucht, wobei sich ebenfalls manches Neue ergab.

Wien, im März 1894.

Der Verfasser.

Inhalt.



I. THEIL.

Zur Anatomie der Netzhaut in der Gegend der Macula lutea.

I.

Structur der Retina in der Gegend der Macula lutea.

Bereits in meiner Monographie über die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut (7)*) habe ich aufgrund anatomischer Befunde, welche mit den ophthalmoskopischen Erscheinungen vollkommen in Uebereinstimmung standen, nachgewiesen, dass die bisher über Grösse und Form der Fovea gemachten Angaben, den Thatsachen nicht entsprechen. Die dort ausgesprochenen Anschauungen haben nun durch weiter fortgesetzte anatomische Untersuchungen, theils eine Bestätigung, theils eine Erweiterung und Ergänzung erfahren. Im folgenden will ich die Resultate dieser Untersuchungen, welche auch auf die Ausbreitung der gelben Farbe in der Netzhaut ausgedehnt wurden, mittheilen. Doch sollen auch die von mir in jener Schrift beschriebenen Netzhautreflexe, welche einen sicheren Rückschluss auf die Oberflächenverhältnisse der Netzhaut gestatten, mit herbeigezogen werden, so dass ich öfters Gelegenheit nehmen werde, auf meine oben erwähnte Monographie zu verweisen.

Es muss zunächst vorausgeschickt werden, dass man natürlich die an den Präparaten gefundenen Maasse als den wirklichen Verhältnissen entsprechend nur dann annehmen darf, wenn die Netzhaut ohne oder mit nur ganz geringer Andeutung von Faltenbildung der Chorioidea anliegend gehärtet war. Fasse ich die in meiner oben citierten Schrift bereits veröffentlichten 3 Fälle mit den später unter-

---

*) Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Buches.

suchten zusammen, so kann ich mich im ganzen auf die Befunde an 10 normalen Netzhäuten stützen, in denen die Retina derart conserviert war. Doch finden sich selbst unter diesen noch Fälle, in denen in oder zwischen den Netzhautschichten Veränderungen aufgetreten waren, so dass die Fovea nicht mehr in ihrer normalen Grösse und Form erhalten war. Ausserdem gelangten noch 2 Augen mit Atrophie der inneren Netzhautschichten zur Untersuchung. Eine Anzahl anderer Bulbi, wo sich bereits deutliche Faltung der Retina im Bereiche der Macula lutea zeigte, wurde nur zum Vergleiche und zur Untersuchung feinerer Structurverhältnisse herangezogen.

Es versteht sich, dass nur frische Augen zur Untersuchung verwendet wurden. In 3 von den angeführten Fällen waren die ganz oder in ihrem hinteren Abschnitte normalen Augen wegen Tumoren der Orbita dem lebenden Körper entnommen worden, die anderen Bulbi wurden in der Zeit von $^3/_4$—$1^1/_2$ Stunden nach dem Tode enucleiert.

Zur Fixierung der Netzhaut wurde theils $3^1/_2$% Salpetersäurelösung, theils (in einem Falle) concentrierte Sublimatlösung mit Zusatz von Essigsäure, zumeist aber das Flemming'sche Chromosmiumessigsäuregemisch verwendet. Stets wurde der Bulbus, bevor er in die betreffende Lösung gelegt wurde, durch einen 6—8 *mm* langen Schnitt am Aequator eröffnet, jedoch so, dass womöglich nur die Sklera durchtrennt wurde, jedenfalls kein Glaskörper abfloss.

Die Flemming'sche Lösung erwies sich als das beste Mittel, um die Netzhaut vollständig in situ zu erhalten und dieselbe gleichzeitig derart zu fixieren, dass das Relief der inneren Oberfläche nicht verändert wird, zwei Bedingungen, welche beide von einer Fixierungsflüssigkeit erfüllt werden müssen, wenn die Form und Grösse der Fovea, wie sie in Wirklichkeit vorhanden ist, nicht geändert werden soll. Es ist ja möglich, dass die Retina sich nicht von ihrer Unterlage abhebt und auch nicht gefaltet ist und doch kann durch Quellung oder Spaltung in oder zwischen einzelnen Netzhautschichten die innere Oberfläche der Netzhaut bedeutend verändert werden. So fand Hulke (1) in einem wegen eines Tumors enucleierten, also völlig frisch in die Härtungsflüssigkeit (Chromsäure) gelangten Auge eine Fovea, die in ihrer Grösse und Form, wie die folgenden Mittheilungen zeigen werden, gewaltig verändert war. Und doch war es ihm in diesem Falle gelungen, die Retina ohne Faltung zu fixieren.

Etwas weniger sicher als die Flemming'sche Lösung wirkt die $3^1/_2$% Salpetersäurelösung. Es kommt vor, dass die durch dieselbe ganz faltenlos fixierte Retina bei der Nachhärtung in Alkohol sich in Falten legt. Die concentrierte Sublimatlösung endlich ruft selbst in völlig frischen Netzhäuten noch Veränderungen hervor, welche die Fovea nicht mehr intact lassen. Die Wirkung dieser beiden Flüssigkeiten konnte sehr wohl in jenen Fällen verglichen werden, wo das eine von zwei unmittelbar nacheinander von einer Leiche enucleierten Augen in Sublimatlösung, das andere in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung oder Flemming'sche Lösung gelegt wurde. In einer dieser letzteren Flüssigkeiten wurde die Netzhaut ganz glatt auf der Unterlage aufliegend, auch die Fovea und ihre Umgebung völlig faltenlos gefunden, während sich in der in Sublimat fixierten Retina feine von der Mitte der Fovea nach allen Richtungen ausstrahlende Fältchen, aber keine eigentliche Plica centralis zeigte.

Die Bulbi verblieben in der Salpetersäure meist 5—6 Stunden, in Sublimat im Brutofen bei 40° C. 2—3 Stunden, in Flemming'scher Lösung mindestens einen Tag, worauf in Alkohol (resp. Jodalkohol) nachgehärtet und die Retina der Maculagegend entweder allein, oder, falls sie an der Chorioidea und Sklera haften blieb, sammt dieser in Celloidin oder Paraffin eingebettet wurde. Die Schnitte wurden mittels des Mikrotoms in der Dicke von 4—6—10 μ angefertigt und mit Alauncarmin-Ammoniakcarmin, Haematoxylin-Eosin oder (wenn in Flemming'scher Lösung gehärtet worden war) mit Safranin oder nach Benda's Methode mit Haematoxylin gefärbt.

Die senkrechten Durchschnitte wurden stets entsprechend dem horizontalen Meridian angelegt. Von fast jedem Auge wurden auch Schnitte aus anderen Netzhautpartien zum Vergleiche herangezogen.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass alle jene Fragen, welche nur durch andere Methoden der Präparation (Isolierung etc.) oder mittels anderer Tinctionen gelöst werden können, nicht in den Bereich der Untersuchung gezogen wurden.

Der besseren Uebersicht wegen sollen die Dickenmaasse der ganzen Retina, sowie Distanzen, die in der Ebene der Retina oder an deren Oberfläche gemessen wurden, in Millimetern, die Messungen der Dicke einzelner Schichten oder einzelner Elemente in Mikren angegeben werden.

A. Grösse und Form der Fovea centralis.

Ueberblicken wir die Angaben, die über Grösse und Form der Fovea centralis in der Literatur gemacht werden, so finden wir Folgendes:

Die Fovea wird als eine kleine Grube beschrieben, die im Centrum der gelbgefärbten und als Macula lutea bezeichneten Partie der Netzhaut liegt. Ihre Form soll quer oval sein, ihr grösster transversaler Durchmesser schwankt zwischen 0·2 und 0·4 *mm*.

Diesen Maassen entsprechend wird die Fovea centralis von Max Schultze (2), J. W. Hulke (1), Merkel (3) als eine Vertiefung mit sehr steilen Wandungen abgebildet. Der Winkel, unter dem die innere Oberfläche der Netzhaut zur dünnsten Stelle derselben abfällt, beträgt 40—50°. M. Schultze gibt an, dass das Präparat, nach welchem er die Fovea abbildet, von einem Auge stammte, an welchem „durch die ersten Anfänge einer Plica centralis, wie sie bekanntlich an der Macula lutea sehr bald nach dem Tode aufzutreten pflegt, das Relief nach dem Glaskörper zu verändert war.“ Die Zeichnung zeigt die Macula lutea „ohne Plica, also wie sie sich im Leben verhält.“ Das Auge, von dem Hulke den Durchschnitt durch die Fovea abbildet, wurde während des Lebens wegen eines Tumors enucleiert und in Chromsäure gehärtet, ohne dass sich eine Plica centralis gebildet hätte.

Wadsworth (4) fand in einem Auge, in dem der Glaskörper albuminös verändert war, so dass sich an dem mit Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Präparate gar keine Plica centralis vorfand, den horizontalen Durchmesser der Fovea mehr als 1 *mm*, wenn man die Fovea dort beginnen lässt, wo die Netzhaut sich zu verdünnen beginnt, während der Durchmesser der Fovea nur 0·4 *mm* beträgt, wenn man bloss den tieferen Theil, wo der Abhang steiler ist, zur Fovea rechnet.

Kuhnt (5) schildert die Verhältnisse der Fovea centralis an einem Auge, welches in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet war und wo die Netzhaut ebenfalls infolge einer eiweissartigen Consistenz des Glaskörpers sich nicht in Falten gelegt hatte. Er unterscheidet die Böschung (clivus), in der die innere Oberfläche der Retina im Bereiche der Fovea zur Mitte der Vertiefung unter einem Winkel von 40—50° abfällt und den Fundus foveae eine plane Stelle am

Grunde der Fovea, deren horizontaler Durchmesser 0·2 *mm*, der verticale 0·15 *mm* beträgt. Im Fundus foveae findet sich eine sehr kleine, die medialsten 5—6 Zapfen deckende Depression, die Kuhnt als Foveola fundi benennt.

Schwalbe (6) schliesst sich in der Beschreibung an Kuhnt an und gibt eine halbschematische nach einem Präparate von Kuhnt angefertigte Zeichnung. Dieselbe entspricht aber, wie ich schon an einem anderen Orte (7) bemerkt habe, durchaus nicht den Angaben, welche im Texte über die Grösse und Gestalt der Fovea gemacht werden, nach welchen der Winkel, unter dem die innere Netzhautoberfläche nach dem Grunde der Fovea abfällt, 35—40° beträgt. Misst man diesen Winkel in der Figur, so findet man ihn gleich 20°. Nun ist eine solche Gestalt der Fovea mit dem angegebenen Durchmesser derselben von 0·2—0·4 *mm* absolut unvereinbar. Wäre der erwähnte Winkel, so wie es in der Zeichnung dargestellt ist, 20°, dann müsste die Retina um sehr vieles dünner sein, als sie es wirklich ist, wenn der Durchmesser der Fovea bloss 0·4 *mm* betragen soll. Man kann sich leicht durch eine in stärkerer Vergrösserung ausgeführte schematische Zeichnung der Fovea davon überzeugen. Unter der Voraussetzung, dass die Netzhaut entsprechend den Angaben der Autoren am Grunde der Fovea bloss 0·1 *mm* dick ist, der Durchmesser der Fovea 0·4 *mm*, der Neigungswinkel am Abhange der Fovea 20° beträgt, würde, wie eine solche Zeichnung zeigt, die Retina am Rande der Fovea bloss etwa 0·16 *mm* dick sein können, während sie doch in der That an dieser Stelle fast doppelt so dick ist. Ferner findet sich in der Figur Schwalbes — ebenfalls nicht in Uebereinstimmung mit dem Texte — kein Fundus foveae. Der Clivus geht vielmehr direct in eine am Grunde der Fovea befindliche, gegen den Glaskörper stark concave Krümmung der inneren Netzhautoberfläche über.

Uebereinstimmend wird von allen Autoren angegeben, dass die Netzhaut in der Umgebung der Fovea wallartig verdickt ist.

Die Dicke der Netzhaut am Grunde der Fovea ist nach Henle „nicht viel über und manchmal unter 0·1 *mm*“, nach Wadsworth 0·17, nach Kuhnt 0·08 *mm*.

In jenen oben erwähnten zehn normalen Augen, in denen die Retina ohne oder mit einer minimalen von der Mitte der Fovea radiär ausstrahlenden Faltung ohne Plica centralis gehärtet war, fanden sich

für den horizontalen Durchmesser der Fovea, gemessen von dem Punkte an welchem die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche beginnt, folgende Zahlen:

1.	2·0 *mm*	6.	1·1 *mm*
2.	1·115 „	7.	2·0 „
3.	1·26 „	8.	1·58 „
4.	1·8 „	9.	1·58 „
5.	1·4 „	10.	1·13 „

Von diesen Fällen müssen noch einige ausgesondert werden.

In Fall 2 (7, S. 171) war der untersuchte Schnitt etwas schief gefallen und es zeigte sich, dass die Retina im Bereiche der Macula lutea zwar der Chorioidea anlag, in einiger Entfernung davon aber die letztere von der Sklera abgehoben war, was darauf hindeutet, dass die Netzhaut doch etwas geschrumpft war und die mit ihr verbundene Chorioidea von der Unterlage abgezogen hatte. Im Falle 3 waren nach der Härtung zahlreiche feine von der Mitte der Fovea radiär ausstrahlende Fältchen wahrnehmbar. Im Falle 6 war die Retina mit der Chorioidea und der Sklera in Verbindung geblieben und wurde auch mit diesen beiden geschnitten. Die Structur der Retina am Grunde der Fovea zeigte sich aber unter dem Mikroskope so schlecht erhalten und so stark geschrumpft, dass hierdurch jedenfalls der Durchmesser der Fovea um ein erhebliches verkleinert wurde. Der Fall 10 endlich, welcher ein vollständig frisches, während des Lebens enucleiertes und in concentrirter Sublimatlösung gehärtetes Auge betraf, liess deutliche Veränderungen an der Grenze zwischen Zapfenfaserschicht und äusserer reticulärer Schicht erkennen, auf die wir weiter unten noch zurückkommen und welche uns zu der Annahme berechtigen, dass auch hier der Durchmesser der Fovea wesentlich kleiner erschien, als er in Wirklichkeit ist.

Ueberblicken wir nun die Zahlen für den horizontalen Durchmesser der Fovea in den übrigen Fällen (1, 4, 5, 7, 8, 9), so ergibt sich eine Grösse, welche dem Durchmesser der Papille gleichkommt oder denselben sogar (Fall 1, 4, 7) wesentlich übertrifft.

Was den verticalen Durchmesser der Fovea anbelangt, so kann ich zwar für denselben keine an verticalen Schnitten gefundenen Maasse angeben, doch gibt uns hierüber die ophthalmoskopische Untersuchung normaler Augen Aufschluss, wovon später die Rede sein wird.

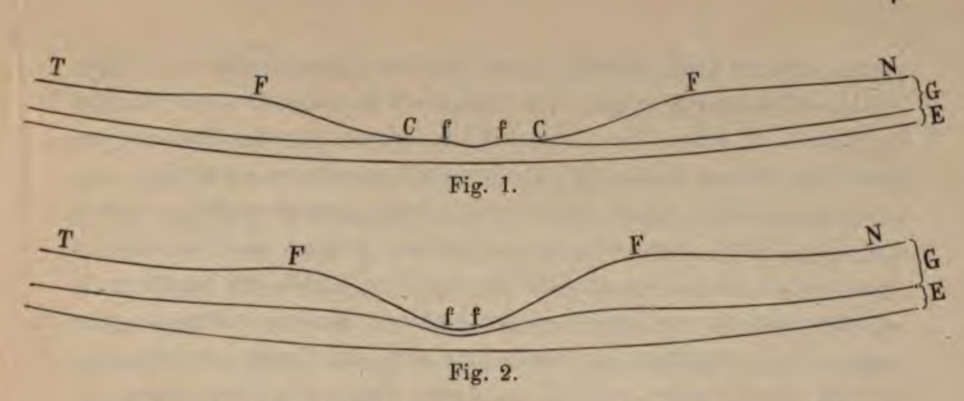


Fig. 1.

Fig. 2.

FF = Fovea, ff = Foveola, N = nasal, T = temporal, G = = Gehirnschicht, E = Neuroepithelschicht.

Die Figuren 1 und 2 wurden in folgender Weise hergestellt. Zunächst wurden die Präparate mittels eines Zeichenapparates in 27·7maliger Vergrösserung gezeichnet. Dann wurden auf dem Contour der äusseren Netzhautoberfläche in dieser Zeichnung von 3 zu 3 *mm* Senkrechte errichtet und die Dicke der Retina an jeder solchen Verticalen gemessen. Dann zeichnete ich eine der Krümmung der äusseren Netzhautoberfläche in 27·7maliger Vergrösserung entsprechende Linie (also mit dem Radius 318 *mm*, wobei der Krümmungsradius der Retina zu 11·5 *mm* geworden war). Zu dieser Linie wurden nun vom Krümmungsmittelpunkte derselben Radien gezogen, welche die Kreislinie in Abständen von 3 *mm* trafen. Auf diese Radien endlich wurden die Dickenmaasse der Retina aufgetragen, die an den entsprechenden Stellen der mit dem Zeichenapparate hergestellten Zeichnung gefunden worden waren.

Ueber die Verhältnisse der inneren Oberfläche der Retina in der Fovea selbst zeigte die Untersuchung der Präparate Folgendes: Ein eigentlicher Fundus foveae im Sinne von Kuhnt, also eine nahezu plane Stelle am Grunde der Fovea fand sich nur in einem Falle (1) vor, u. zw. im Ausmaasse von 0·7 *mm*. Doch ergab die genaue Untersuchung und Messung an einem nach dem Präparate aufgenommenen Photogramme, dass an dieser Stelle die innere Oberfläche der Retina nach vorne gegen den Glaskörper zu concav war, wie ich dies bereits (7) ausführlich geschildert habe (Fig. 1 CC). Der Krümmungsradius dieser Stelle beträgt nach der Messung an einer in 50facher Vergrösserung hergestellten Zeichnung etwa 2 *mm*. Der Winkel, unter dem der Clivus (Fig. 1 F C) zu dieser am Grunde der Fovea gelegenen, nach

vorne concaven Fläche abfiel, war an der Nasenseite nur etwa 15—16°*), an der Schläfenseite sogar noch weniger. Ich muss hier, wie ich dies bereits a. a. O. gethan habe, ausdrücklich betonen, dass das Präparat, das diese Verhältnisse zeigte, in ganz vorzüglicher Weise conserviert war.

In der Mitte dieser nach vorne schwach concaven Stelle, welche also als Fundus foveae bezeichnet werden könnte, war der Schnitt derart eingerissen, dass daselbst die äusseren Enden der Zapfen nicht in demselben Niveau lagen, wie an anderen Stellen, vielmehr etwas nach vorne gerückt waren. Denkt man sich die Zapfen zurückgelegt, so dass die Limitans externa an dieser Stelle die Fortsetzung der Limitans in der Nachbarschaft bildet, so zeigt sich, dass in der Mitte des nur sehr schwach nach vorne concaven Fundus foveae eine stärkere Depression im ungefähren Ausmaasse von 0·12 *mm* vorhanden ist. Es entspricht diese Vertiefung offenbar der Foveola fundi von Kuhnt (siehe Fig. 1 ff).

In allen übrigen Fällen und auch in jenen, in welchen der Durchmesser der Fovea jenem des eben erwähnten Falles fast oder ganz gleich war (4, 7), gieng der Clivus (Fig. 2) direct ohne Vermittelung eines sogenannten Fundus foveae in eine gegen den Glaskörper stark concav gekrümmte Fläche von etwa 0·12—0·3 *mm* Durchmesser über, welche wir ebenfalls als Foveola bezeichnen müssen (Fig. 2 ff). Es liess sich jedoch deutlich erkennen, dass die Foveola in Wirklichkeit zumeist stärker nach vorne concav sein musste, als sie sich im anatomischen Präparate darstellte. Die Limitans externa zeigte nämlich am Grunde der Fovea nur in 2 Fällen einen ganz geraden, der äusseren Oberfläche der Netzhaut parallelen Verlauf. In allen anderen war sie mehr oder weniger stark nach vorne convex gekrümmt, eine Krümmung, welche die äusseren Enden der Zapfenaussenglieder, dort wo sie gut erhalten waren, vollständig mitmachten. Denkt man sich also die Retina am Grunde der Fovea ganz an die Chorioidea angelegt, so muss die Foveola eine noch stärker concave Krümmung erhalten (siehe Fig. 2). In manchen der untersuchten Augen fand sich an Stelle der Foveola eine ganz plane Stelle oder sogar eine leichte Convexität an der inneren Oberfläche der Netzhaut. Das erwähnte Verhalten der Limitans externa und der Zapfen-

*) Der von mir für diesen Fall früher angegebene Winkel von 10—12° bezieht sich auf das Präparat selbst, wo die äussere Netzhautoberfläche etwas weniger gekrümmt war als in der in der beschriebenen Weise angefertigten Zeichnung.

schicht war dann besonders stark ausgeprägt und man konnte daraus auch in diesen Fällen mit Sicherheit auf eine ursprünglich vorhanden gewesene Foveola schliessen.

Der Winkel, unter welchem der Clivus zum Grunde der Fovea abfiel, war wohl natürlich je nach der verschiedenen Grösse der Fovea ein verschiedener, doch in den wohlconservierten Präparaten nie grösser als 25°. Auch die neueste Abbildung der Fovea von Schaper (11) zeigt einen Winkel von 45°, doch war das Präparat Schapers, wie ich später bei der Besprechung der äusseren Faserschicht zeigen werde, durchaus nicht gut erhalten*).

In allen untersuchten Augen war die Netzhaut in der Umgebung der Fovea wallartig verdickt, so dass daselbst die innere Oberfläche der Retina eine deutliche Convexität gegen den Glaskörper zeigt (Fig. 1 und 2).

Die Dicke der Retina am nasalen Rande der Fovea war in 6 Fällen, wo die Fovea offenbar am besten in ihrer Gestalt erhalten war (Fall 1, 4, 5, 7, 8, 9) 0·275—0·41 *mm*, am temporalen Rande 0·22—0·35 *mm* (ohne Pigmentepithel). Constant war in jedem einzelnen Falle die Netzhaut am nasalen Rande der Fovea dicker als am temporalen. Entsprechend diesem Dickenunterschiede fällt auch in jedem Falle der Clivus vom nasalen Rande der Fovea steiler zum Grunde der Fovea ab als vom temporalen (Fig. 1 und 2).

In 2·26 *mm* Entfernung von der Mitte der Fovea nasalwärts maass die Retina 0·25—0·32, in derselben Distanz von der Mitte der Fovea gegen die Schläfenseite 0·2—0·3 *mm*.

Die Dicke der Netzhaut am Grunde der Fovea betrug in jenem Falle, wo sich ein sogenannter Fundus foveae vorfand, im Bereiche desselben 0·1 *mm*, in der Foveola 0·085 *mm*, in den übrigen 5 Fällen mit gut erhaltener Fovea war die Dicke der Retina in der Mitte der Foveola 0·075—0·12 *mm*. (Alle Dickenmaasse der Retina sind ohne das Pigmentepithel zu verstehen.)

---

*) Interessant ist, dass Michaelis (8), obwohl ihm keine Schnittpräparate zur Verfügung standen, die Formverhältnisse der Fovea doch besser wiedergibt als spätere Untersucher. Er bringt auf Tafel XXXIX, Fig. 9, eine Abbildung, welche als „ideale Vorstellung von der Lage der Theile in der Gegend der Macula lutea und am Foramen centrale" bezeichnet ist. Der Clivus fällt hier unter einem Winkel von 17—20° gegen die Mitte der Fovea ab und die Grösse der Fovea entspricht relativ zur Dicke der Retina weit mehr den wirklichen Verhältnissen als die Bilder, die später nach durch die Fovea gelegten Netzhautschnitten gezeichnet wurden.

Es sei mir gestattet hier nochmals darauf hinzuweisen, dass die soeben mitgetheilten Resultate der anatomischen Untersuchung mit dem ophthalmoskopischen Befunde in vollkommener Uebereinstimmung stehen. Bekanntlich erscheint bei jungen Individuen im Bereiche der Macula lutea, besonders bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde, aber auch im aufrechten Bilde dann, wenn man eine stärkere Beleuchtung anwendet, ein glänzender Ring, welcher eine matte, dunklere Stelle umgibt. Die Gestalt dieser letzteren ist gewöhnlich queroval und der verticale kleinere Durchmesser derselben (welcher dem inneren verticalen Durchmesser des glänzenden Ringes entspricht) kommt etwa dem Durchmesser der Papille gleich, während der horizontale ihn meist übertrifft. Oft ist aber jene matte dunklere Stelle, die von dem glänzenden Ringe umfasst wird, kreisrund, aber nur sehr selten, und stets nur um ein geringes kleiner wie die Papille.

Ich habe nun (7) nachgewiesen, dass der glänzende Ring durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der inneren Oberfläche der Retina in der Umgebung der Fovea entsteht, und zwar eben an jener wallartigen Verdickung der Netzhaut, welche die Fovea umgibt. Das an dem Clivus regelmässig reflectierte Licht nimmt aber einen solchen Verlauf, dass es aus der Pupille des untersuchten Auges nicht mehr austritt. Deshalb erscheint uns diese Partie dunkler und glanzlos, und zwar fällt der äussere Rand jener matten Stelle, die von dem hellen Ringe eingefasst wird, genau mit jenem Punkte zusammen, an welchem sich die innere Oberfläche der Retina zum Grunde der Fovea einsenkt. Die matte dunkle Scheibe, welche wir innerhalb des glänzenden Ringes bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen, gibt uns also genau die Grösse und Form der Fovea centralis an. Es wäre dieser Reflexring, gewöhnlich Macularereflexring genannt, somit richtiger als Fovealreflex zu bezeichnen.

Es soll noch bemerkt werden, dass man in sehr seltenen Fällen innerhalb des grossen glänzenden Ringes einen zweiten, weniger glänzenden Ring sehen kann, welcher von dem grossen durch einen ziemlich grossen Zwischenraum getrennt wird. Er erklärt sich durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der als Fundus foveae bezeichneten, nach vorne schwach concaven Krümmung der inneren Netzhautoberfläche.

Da uns somit die ophthalmoskopische Untersuchung zeigt, dass die Fovea nur äusserst selten und dann nur sehr wenig kleiner ist als die Papille, so können wir mit Bestimmtheit aussagen, dass der

Winkel, unter dem der Clivus zum Grunde der Fovea abfällt, nur in diesen seltenen Fällen und höchstens um einige Grade mehr als 25° betragen wird, niemals aber 45°, 50° oder gar noch mehr. Ich muss dies ausdrücklich gegenüber den Bemerkungen Schapers (11) über diesen Punkt hervorheben.

In der Mitte der auf diese Weise mit dem Augenspiegel genau abgrenzbaren Fovea erscheint (besonders bei der Untersuchung im aufrechten Bilde) ein Reflex von gewöhnlich sichelförmiger Gestalt, der sich auch bei Verschiebungen des Spiegels vor dem Auge in einen Ring verwandeln kann — der sogenannte Fovealreflex. Er entsteht wie ich (7) gezeigt habe, durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der Foveola und sollte somit eigentlich Reflex der Foveola genannt werden*).

---

*) Vossius (Leitfaden zum Gebrauche des Augenspiegels. 3. Auflage 1893 Seite 72) schreibt über das Aussehen der Macula lutea: Der Augenhintergrund „erscheint hier im Bereiche einer Stelle von liegend-ovaler Form und annähernd Papillengrösse dunkler pigmentiert, grobkörnig und enthält in der Mitte dieses Fleckes gewöhnlich einen etwa kleinstecknadelkopfgrossen gelblich aussehenden Punkt, die Fovea, um welchen herum man im aufrechten Bilde meist einen kleinen, mondsichel- oder hufeisenförmigen Lichtreflex wahrnimmt, welcher mit den Drehungen des Spiegels wandert, bald die Concavität nach oben, bald nach aussen oder nach innen zeigt und von der geringen Aushöhlung der Netzhaut an der Stelle der Fovea herrührt, resp. von den Wänden der Fovea entworfen wird, wie auch Dimmer annimmt“. Vossius stellt sich also vor, dass der Grund der Fovea als heller Punkt erscheint, während durch Reflex an den Wänden der Fovea der kleine hufeisenförmige Reflex entsteht. Abgesehen davon, dass jener kleine stecknadelkopfgrosse Punkt als Ausdruck der Fovea gleichzeitig mit einem sichelförmigen Reflex überhaupt nicht existiert, ist es auch unrichtig, dass der kleine hufeisenförmige Reflex (Fovealreflex) von den Wänden der Fovea entworfen wird. Ich habe im Gegentheil gezeigt, dass das Licht, das an den Wänden der Fovea -- darunter kann man doch nur den Clivus verstehen — regelmässig reflectiert wird, die Pupille überhaupt nicht verlässt, wie übrigens 2 Seiten später Vossius ganz richtig anführt. Ein Blick auf die meiner Arbeit (7) beigegebene Tafel zeigt die Richtigkeit meiner Angaben. Ich habe vielmehr unumstösslich bewiesen, dass der hufeisenförmige Reflex durch den kleinen Hohlspiegel der Foveola erzeugt wird. Vossius sagt ferner (l. c. Seite 74) dass der grosse glänzende Reflexring in der Gegend der Macula durch eine „muldenförmige Vertiefung der Retina an der Stelle der Macula“ bedingt wird. Er unterscheidet also diese muldenförmige Vertiefung von der Fovea, in der der kleine hufeisenförmige Reflex entstehen soll. (Es muss nach Vossius' eigener Erklärung dieses Reflexes richtig heissen, der Reflex entsteht „in“ der Fovea und nicht „um“ die Fovea, wie er auf Seite 74 sagt.) Vossius hält eben offenbar trotz der von mir (7) beigebrachten anatomischen Befunde an den alten Anschauungen über die Grösse der Fovea fest. Ueber die Entstehung des „Reflexringes um die Macula“ spricht sich Vossius folgendermaassen aus: „Ich möchte denselben für

Indem ich in Bezug auf die nähere Erklärung des Zustandekommens der Sichel- und Ringform auf meine bereits veröffentlichten Untersuchungen hinweise, sei hier nur erwähnt, dass die Grösse dieses Reflexes sehr grossen individuellen Schwankungen unterliegt, was eben mit dem sehr verschiedenen Krümmungshalbmesser des kleinen von der Foveola gebildeten Hohlspiegels zusammenhängt. Jedenfalls ist aber die Krümmung der Foveola stets eine recht starke, da der Durchmesser des Ringes oder des Kreises, zu dem man sich die Sichel ergänzt denken kann, nicht über eine gewisse Grösse hinaus geht. Ferner liegt dieser Reflex, wie es ja bei einem von einem Hohlspiegel gelieferten verkehrten Bilde der Fall sein muss, zwar immer vor der inneren Netzhautoberfläche, was man durch die parallactische Verschiebung nachweisen kann, doch ist dieser Abstand entsprechend der stets ziemlich starken Krümmung der Foveola nie sehr bedeutend, nie so stark, dass eine Refractionsdifferenz zwischen dem Reflex und den übrigen in nächster Nähe befindlichen Details des Augenhintergrundes vorhanden wäre.

Das constante Vorkommen dieses Reflexes in der Mitte der Fovea, der sich nur als ein verkehrtes Bild eines vor der Pupille liegenden Theiles des Augenspiegels, entworfen durch eine am Grunde der Fovea liegende, gegen den Glaskörper zu stark concave Fläche, erklären

abhängig erklären von der Tiefe der Netzhautgrube und der Steilheit ihrer Ränder, welche den Lichtreflex verursachen". Hier wird also der Ausdruck Netzhautgrube in anderem Sinne gebraucht als früher der Namen Fovea. Unter Netzhautgrube müsste man also jene „muldenförmige Vertiefung der Retina an Stelle der Macula" verstehen und unter Fovea eine weitere kleine Vertiefung in dieser muldenförmigen Vertiefung, eine Unterscheidung, die durch nichts begründet werden kann. Auch die weiteren Bemerkungen Vossius' über die Entstehung des sogenannten Macularreflexes sind ganz unrichtig, wie jedermann aus meiner Arbeit ersehen kann. Weiter sagt Vossius (Seite 74): „Innerhalb des Ringes sieht der Augenhintergrund immer abnorm dunkel aus" und erklärt dies durch die Verdünnung der Retina daselbst. Es ist wiederum falsch, wenn Vossius dann (S. 75) als meine Ansicht anführt, dass „der dunkelbraunrothe Fleck innerhalb dieses Ringes" nicht allein durch die Verdünnung der Retina, sondern auch dadurch entstehen soll, dass die äussere Faserschicht Henles unweit von dem Rande jener dunklen Stelle ihre grösste Dichte erreicht und dann rasch abnimmt. Er verwechselt hier die grosse dunkle Scheibe innerhalb des Macularreflexes mit dem kleinen dunklen Fleck in der Mitte der Fovea, der von ihm gar nicht erwähnt wird, wie dies zur Evidenz aus dem nächsten Satze hervorgeht: „Diese Erklärung scheint mir auch aus anatomischen Gründen nicht gerechtfertigt, vor allem, weil gerade in der Macula die äussere Faserschicht am dichtesten und mächtigsten ist, wie mir meine Präparate beweisen und auch aus der Abbildung von Dimmer erhellt".

lässt, würde uns das Recht geben, eine solche Fläche an dieser Stelle anzunehmen, auch wenn wir sie durch die anatomische Untersuchung nicht nachweisen könnten. Und zwar lässt sich sogar der Krümmungshalbmesser der betreffenden Fläche aus der Grösse des Reflexes annähernd berechnen. Ich fand denselben (7, p. 233) für eine besonders häufig vorkommende Grösse des Reflexes der Foveola gleich 0·3 *mm*.

In der That entsprach aber der Befund im anatomischen Präparat vollkommen den Erwartungen, welche man nach den ophthalmoskopischen Erscheinungen haben musste. Wenn die Foveola auch in den Schnitten sehr oft nicht in ihrer natürlichen Gestalt erhalten war, so liess sich doch ihre ursprüngliche Gestalt, mit Berücksichtigung der durch die Präparation an der äusseren Oberfläche der Retina entstandenen Concavität, leicht reconstruieren, wie ich dies oben auseinandergesetzt habe.

In nur ziemlich seltenen Fällen sieht man mit dem Augenspiegel statt eines regelmässigen sichelförmigen Reflexes einen kleinen hellen Punkt oder Fleck. Ferner erscheint manchmal neben dem gewöhnlichen Fovealreflex ein zweiter Reflex von unregelmässiger Gestalt, welcher, wie ich a. a. O. auseinandergesetzt habe, nur dadurch seine Erklärung findet, dass die innere Oberfläche der Retina, bevor sie sich zur Foveola einsenkt, eine leichte Convexität nach vorne zeigt, ähnlich wie am Rande der Fovea.

Fassen wir nun das zusammen, was wir nach der anatomischen und ophthalmoskopischen Untersuchung über die Grösse und Gestalt der Fovea aussagen können, so ergeben sich folgende Punkte:

1. Die Fovea ist eine meist querovale, oft aber auch kreisrunde Vertiefung, die gewöhnlich grösser, selten und dann nur etwas kleiner als die Papille ist.

2. Umgeben wird die Fovea von einer wallartigen Verdickung der Netzhaut, welche stets am nasalen Rande der Fovea bedeutender ist als am temporalen. Am nasalen Rande ist die Dicke der Retina 0·275—0·41 *mm*, am temporalen Rande 0·22—0·35 *mm* (ohne Pigmentepithel).

3. Die Einsenkung der inneren Netzhautoberfläche vom Rande der Fovea gegen ihre Mitte erfolgt in Form einer schiefen Ebene, als sogenannter Clivus, unter dem Winkel von 15—25° an der nasalen Seite und unter einem noch etwas kleineren Winkel an der temporalen.

4. Nur in seltenen Fällen findet sich ein Fundus foveae. d. h. eine grössere (bis 0·7 *mm* im Durchmesser haltende) Stelle am Grunde der Fovea, welche nur schwach nach vorne concav gekrümmt ist und in welche der Clivus übergeht.

5. Die Foveola ist eine stark nach vorn concav gekrümmte Fläche von 0·12—0·3 Durchmesser an der tiefsten Stelle der Fovea. Da wo ein Fundus foveae vorhanden ist, liegt die Foveola in der Mitte desselben; fehlt, wie dies meistens der Fall ist, der Fundus foveae, dann geht der Clivus direct in die Foveola über.

6. In seltenen Fällen findet sich an der tiefsten Stelle der Fovea statt der Foveola eine unregelmässige, trichterförmige Einsenkung (punktförmiger Reflex) oder eine leicht nach vorn convexe Fläche am Rande einer in gewöhnlicher Weise gekrümmten Foveola.

7. Die Dicke der Netzhaut in der Mitte der Foveola, also an ihrer dünnsten Stelle beträgt 0·075—0·12 *mm*.

B. Verhalten der einzelnen Netzhautschichten.

Schon von H. Müller (9) wurde darauf hingewiesen, „dass in der Conformation der Grube und damit auch in der Anordnung der Netzhautelemente daselbst nicht unerhebliche individuelle Verschiedenheiten vorkommen, welche mit Entwicklungszuständen zusammenhängen mögen“. Bezüglich des ersten Punktes, der Conformation der Grube hat diese Ansicht bereits in der oben angegebenen Auseinandersetzung ihre Bestätigung erfahren. Doch unterliegt auch in der That die Anordnung der Netzhautelemente vielfachen Schwankungen.

H. Müller hat angegeben, dass in der Fovea centralis die Nervenfaserschicht und die granulöse Schicht (innere reticuläre Schicht) vollständig verschwinden, während die anderen Schichten der Retina, wenn auch verdünnt, sich an der dünnsten Stelle der Netzhaut am Grunde der Fovea nachweisen lassen. Die Ganglienzellenschicht und die innere Körnerschicht confluieren am Grunde der Fovea zu einer dünnen Lage. Nach Max Schultze schwinden in der Fovea centralis alle Schichten ausser der Zapfenschicht und den sich zunächst anschliessenden Zapfenkörnern auf ein Minimum. Henle fand auch

die äussere granulierte Schicht am Grunde der Fovea nicht vor und dies wird auch von Merkel bestätigt. Hulke konnte an der dünnsten Stelle der Netzhaut keine äussere Körnerschicht nachweisen, während Wadsworth in seinen Präparaten das Fehlen der beiden granulierten Schichten, aber eine Dickenzunahme der äusseren Körnerschicht constatierte. Kuhnt gibt an, dass am Grunde der Fovea sämmtliche Schichten, welche von Schwalbe als Gehirnschicht zusammengefasst wurden, fehlen und daselbst nur die Neuroepithelschicht (Zapfenfaserschicht, äussere Körnerschicht, Limitans externa, Zapfenschicht) vorkommt.

Ich will nun genauer auf die einzelnen Netzhautschichten eingehen und meine Befunde mit denen früherer Untersucher vergleichen.

a) Gehirnschicht.

1. Der Margo limitans retinae.

Tafel, Fig. 1 und 2, I.

Bekanntlich hat man früher stets die Hyaloidea zur Retina gerechnet und beide zusammen wurden auch als Membrana limitans beschrieben. M. Schultze lässt zuerst die Membrana limitans durch Verschmelzung der Radialfaserkegel entstehen, eine Ansicht, die durch die Untersuchungen von Schelske weiter gestützt wurde. Henle nahm nur eine Membran zwischen Glaskörper und Retina an, die Membrana limitans hyaloidea, während nach Iwanoff und Herzog Carl die Hyaloidea zur Retina gehört. Schwalbe dagegen bezeichnet die durch Aneinanderschliessen der Basalflächen der Radialfaserkegel entstehende Grenzschichte der Netzhaut, welche durch cuticulare Verdickung der inneren Basalflächen doppelt contouriert erscheint, als Margo limitans. An der Innenfläche dieses Margo limitans liegt dann die den Glaskörper nach aussen begrenzende Membrana hyaloidea.

Bezüglich des Verhaltens der Membrana limitans in der Gegend der Macula sagt Merkel (3), dass sich dieselbe im Bereiche der Macula verdickt, so dass sie daselbst eine Dicke von 3 μ erreicht, in welcher Stärke sie die ganze Macula überzieht, um sich vom Rande der Fovea an wieder allmählich zu verdünnen. Sehr von einander abweichende Angaben finden sich dagegen bei M. Schultze (12) und bei Schwalbe (13). Nach Max Schultze fehlen zwar im Bereiche der Macula dickere Radialfaserenden, welche sich zu einer Limitans interna

vereinen würden, doch durchaus nicht die Limitans interna, welche „vielmehr als besondere Haut leicht abziehbar und sehr resistent" ist. Schwalbe aber gibt an, dass im Bereiche der Macula lutea mit den Radialfaserkegeln auch die Limitans fehlt. Was von Merkel und Schultze als solche beschrieben wird, ist nach Schwalbe nichts weiter wie die Hyaloidea, welche hier selbstverständlich sehr leicht auf der Netzhaut zurückbleibt. Merkels Angaben, dass sie hier dicker wie in anderen Orten ist, sei darauf zurückzuführen, dass sich an dieser Stelle mehr Glaskörpersubstanz mit der Hyaloidea ablöst, welche an erhärteten Präparaten sich dann wie eine Verdickung der Glaskörpermembran ausnimmt. Schaper (11) kommt dagegen neuerdings auf die Angaben Merkels zurück und bestätigt dieselben.

Von M. Schultze sowohl als von Schwalbe wird übereinstimmend erwähnt, dass im Bereiche der Macula keine Radialfaserkegel vorkommen. Kuhnt (14) bezeichnet es als eine „Besonderheit der Gegend der Macula, dass in derselben die Radialfasern proportional der Annäherung an die Fovea immer dichter, aber zugleich auch dünner und schräg gestellt erscheinen". Die neuesten Untersuchungen des Stützgewebes der menschlichen Retina, welche von Dogiel (15) mittels der Färbungsmethoden von Wolters und nach dem von Ramon y Cajal veränderten Golgi'schen Verfahren angestellt wurden, haben aber ergeben, dass die Müller'schen Fasern in der Gegend des gelben Fleckes sehr reichlich entwickelt sind und deutlicher hervortreten als in anderen Theilen der Netzhaut. Sie bilden in der inneren und äusseren gangliösen Schicht eine grössere Zahl von Plättchen und spalten sich an ihrem inneren Ende in verschiedener Entfernung von der Limitans interna in 2 bis 3 Fasern, welche sich dann mit kleinen Verdickungen zur Limitans interna zusammenschliessen.

Auch ich kann, soweit dies durch einfache Schnittpräparate und ohne bestimmte Färbungsmethoden möglich ist, dieses Verhalten der Stützfasern constatieren. Jedenfalls kann ich aber behaupten, dass auch hier eine Membrana limitans interna existiert, welche durch Verschmelzen der inneren Enden der Radiärfasern gebildet wird, und also am besten mit Schwalbe als Margo limitans retinae zu bezeichnen ist. Diesem Margo limitans liegt nach innen zu die Hyaloidea auf. Sie erwies sich als eine an den Präparaten, die in Flemming'scher Lösung gehärtet waren, mit Safranin ziemlich stark gefärbte, homogene Membran,

von an verschiedenen Stellen wechselnder Stärke. Sie haftet der inneren Oberfläche der Retina, dem Margo limitans an vielen Stellen der Schnitte dicht an, an anderen Stellen ist sie davon auf kürzere oder längere Strecken abgelöst, so dass beide sich mit vollständiger Deutlichkeit und Sicherheit unterscheiden lassen. Meist ist sie dort, wo sie von der Retina abgelöst ist, an ihrer äusseren, der Netzhaut zugekehrten Fläche ganz glatt ohne Reste von Verbindungen mit der Retina. Nur sehr selten sieht man ihr an solchen Stellen feine Fäden anhängen. Dann ist aber auch die innere Oberfläche der Retina daselbst nicht durch einen deutlichen Margo limitans abgegrenzt und man kann ganz deutlich wahrnehmen, dass hier die Hyaloidea mit dem Margo limitans fester verbunden war und dass, als sich erstere von der Netzhaut ablöste, einzelne Radialfaserenden an ihr haften blieben. An dem Rande der Fovea war die Hyaloidea allerdings meist dicker als am Grunde der Fovea.

2. *Die Nervenfaserschicht.*

Tafel. Fig. 1 und 2, 2.

Bekanntlich gehen alle älteren Angaben dahin, dass die Nervenfaserschicht der Retina im Bereiche der Fovea als eine zusammenhängende Lage fehlt. H. Müller (9) fand, indem er die Retina mit mässiger Vergrösserung von der Fläche betrachtete, dass das von den Nerven herrührende streifige Aussehen auf der Seite der Eintrittsstelle des Sehnerven in einer Entfernung von 0·25 *mm* von der Mitte der Fovea, auf der entgegengesetzten Seite bei 0·35 *mm*, nach abwärts und aufwärts bei 0·18 *mm* verschwand. Er fügt hinzu: „Mit diesen Angaben stimmt das, was ich auf senkrechten Schnitten gesehen habe, ziemlich überein. In der Linie gerade auswärts vom gelben Flecke ist auch weiterhin nirgends eine stärkere Schicht von Nervenfasern zu finden, vermöge des geschilderten Verlaufes derselben". Henle (10) erscheint es zweifelhaft, ob diese Lage an irgend einer Stelle ganz fehle. Kuhnt (5) fand, dass die Nervenfaserschicht in circa 0·4 *mm* vom Centrum der Fovea aufhört als eine distincte Schicht zu imponieren. Dogiel (16) hat dagegen unlängst mittels der Ehrlich-schen Methylenblaufärbung nachgewiesen, dass auch am Grunde der Fovea sich noch Nervenfasern vorfinden. Er beschreibt die Verhältnisse folgendermaassen: „Im Gebiete des gelben Fleckes zerfallen sämmtliche Nervenfaserbündel, nicht selten fächerförmig, in einzelne Faserbündel.

Die einen von ihnen lösen sich in feine Fasern auf, welche hier im Bereiche des gelben Fleckes der Beobachtung entschwinden, während andere den Rand der Fovea erreichen und sie ringförmig umgeben. Von diesem Nervenringe und von anderen an dessen Bildung nicht betheiligten Nervenfaserbündeln gehen sehr feine Aestchen ab, welche in schräger Richtung allmählich zum Grunde der Fovea hinabsteigen und durch gegenseitige Verflechtung schliesslich einen an den Seitenwänden und an dem Grunde der Fovea gelegenen breitmaschigen Plexus bilden".

An meinen Präparaten konnte ich diesen Plexus nicht sehen, da es nicht gelingt denselben an senkrechten Netzhautschnitten und ohne besondere Färbungsmethoden nachzuweisen, wie dies auch ein Blick auf die sehr schöne von Dogiel gegebene Abbildung eines mit Methylenblau gefärbten Flächenpräparates zeigt. Die Nervenfaserschicht zeigte sich an meinen Schnitten, wie dies auch Schaper erwähnt, stets an der Nasenseite der Fovea dicker als an der Schläfenseite. Sie hörte in der Entfernung von 0·4—0·7 *mm* von der Mitte der Fovea auf; war also stets über die dickste Stelle der Retina am Rande der Fovea hinüber zu verfolgen.

An einigen Präparaten fand sich zwischen Margo limitans und Nervenfaserschichte jener von Henle und Merkel (17) als Lymphraum gedeutete, von Boll (18), sowie von Schwalbe (13) als Kunstproduct erklärte Zwischenraum, der von den Müller'schen Radiärfasern durchzogen wird. Derselbe wird übrigens neuerdings wieder von Kuhnt (14) erwähnt.

3. *Ganglienzellenschicht.*

Ganglion nervi optici, innere gangliöse Schicht (Henle).

Tafel, Fig 1 und 2, 3.

Diese Schicht erfährt bekanntlich in der Gegend der Macula eine sehr erhebliche Verdickung. H. Müller (9) nimmt als das durchschnittliche Maass etwa 8 Reihen von Zellen und eine Dicke der Schichte von 0·06—0·08 *mm* für die dickste Stelle an. In der Fovea nimmt dann wieder die Zahl der Ganglienzellen allmählich ab. Während aber alle Autoren über diese Verdickung der Ganglienzellenschicht in der Maculagegend einig sind, finden wir in ihren Angaben über das Verhalten der Ganglienzellenschicht am Grunde der Fovea

eine sehr bedeutende Divergenz. H. Müller sah in einem wohlerhaltenen Auge noch etwa 3 Reihen von Zellen am Grunde der Fovea übereinander liegen. Henle lässt die Ganglienzellenschicht mit der Körnerschicht zuerst unter sich und dann auch mit der äusseren Körnerschicht „zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* Mächtigkeit" zusammenfliessen. Merkel (3) beschreibt bloss ein Zusammenfliessen der Ganglienzellenschicht und (inneren) Körnerschicht. Nach Wadsworth (4) bilden die Ganglienzellenschicht und die Körnerschicht zusammen eine Lage von 0·025 Dicke im Centrum der Fovea. Kuhnt (5) hat gefunden, dass die sämmtlichen Schichten der Netzhaut mit Ausnahme der Neuroepithelschicht am Grunde der Fovea verschwinden. Neuerdings hat aber wieder Schaper (11) sich den Angaben Henles vollständig angeschlossen.

In den von mir untersuchten Netzhäuten war das Zusammenfliessen der Ganglienzellenschicht mit der (inneren) Körnerschicht fast durchwegs wahrnehmbar. Nur in einem Falle restierte ein allerdings nur minimaler Streifen der inneren reticulären Schicht zwischen den beiden gangliösen Schichten. Dagegen konnte ich in zwei Fällen constatieren, dass die Ganglienzellenschicht ebenso wie die innere Körnerschicht am Grunde der Fovea vollständig fehlten. Die Ganglienzellenschicht verschwand in einem dieser Fälle 0·075 *mm* von der Mitte der Fovea, im anderen Falle betrug diese Distanz sogar 0·35 *mm*. Constant war die Ganglienzellenschicht am Rande der Fovea am dicksten, und immer dicker am nasalen Rande der Fovea als am temporalen Rande derselben, sie maass 57—85 μ am nasalen Rande und 45—75 μ am temporalen Rande. Sie verdünnt sich dann allmählich und ausser in den zwei soeben erwähnten Fällen, fanden sich Elemente der Ganglienzellenschicht auch am Grunde der Fovea, ja ganz in der Mitte derselben vor. Meist liegen sie nur vereinzelt, durch grössere Zwischenräume getrennt, können aber auch eine vollständige einreihige Schicht bilden.

Am Rande der Fovea liegen, so wie dies auch von H. Müller beschrieben wurde, gewöhnlich 6—8 Ganglienzellen übereinander. Sie haben hier fast durchwegs Birnform, das dickere Ende, in welchem sich gewöhnlich der Kern befindet, nach innen gekehrt (Merkel). Am äusseren Rande der Ganglienzellenschicht fand ich fast stets spärliche Elemente, welche nach Aussehen und Färbung den sogenannten Spongioblasten zugezählt werden mussten.

Nur in einem Falle zeigte die Ganglienzellenschicht ein ganz auffallendes Verhalten. Ein rechteckiges Stück der Retina, welches ungefähr in seiner Mitte die Fovea enthielt, war so herausgeschnitten worden, dass die längere, 3 *mm* messende Seite des Rechteckes horizontal verlief. Die ersten von diesem Netzhautstücke angefertigten horizontalen Schnitte zeigten zunächst in ihrer ganzen Ausdehnung eine deutliche Verdickung der Ganglienzellenschicht. Es liegen hier am nasalen Ende des Schnittes 2—3 Zellen übereinander und gegen das temporale Ende wird die Schicht allmählich dicker, so dass dort 3—4 Zellen aufeinander geschichtet sind. An weiteren Schnitten, welche aber noch immer nicht durch die Fovea giengen, enthielt die Ganglienzellenschicht in der nasalen Hälfte der Schnitte im ganzen nur eine einzige Lage von Ganglienzellen. Nur hie und da lagen noch eine zweite oder dritte Ganglienzelle hinter dieser einfachen Schicht. Gegen das temporale Ende des Schnittes verdickt sich die Ganglienzellenschichte allmählich und zeigt hier eine 3—4fache Zellenlage. Durch Zählung der Schnitte, welche in bekannter Dicke in lückenloser Reihenfolge angelegt wurden, lässt sich ermitteln, dass der erste Schnitt, an welchem sich dieses Verhältnis zeigt, in senkrechter Richtung ungefähr 0·9 *mm* von einem durch die Mitte der Fovea gehenden Schnitt entfernt ist. Schnitte endlich, welche bereits die Fovea enthalten, lassen erkennen, dass die Ganglienzellenschicht nasalwärts von der Fovea und auch am nasalen Rande der Fovea nur eine Lage von Zellen aufweist und sich hier so verhält, wie schon früher an der temporalen Hälfte der der Fovea zunächst gelegenen Schnitte. Diese einfache Lage von Ganglienzellen lässt sich über den nasalen Clivus bis zum Grunde der Fovea hinab verfolgen. Hier finden sich noch einzelne Ganglienzellen, dann verdickt sich die Schichte am temporalen Clivus sehr rasch und am temporalen Rande der Fovea liegen schon bis 5 Ganglienzellen übereinander. Fast in derselben Dicke verblieb dann die Schichte bis zum Ende des Schnittes.

Bekanntlich sind die Nervenfaserbündel, welche von der Papille in horizontaler Richtung direct nach der Macula hinziehen, bedeutend dünner, als jene, die nach anderen Richtungen von der Papille ausstrahlen, so dass sie sich nebeneinander liegend ausbreiten; ja manchmal lassen sie selbst schmale Zwischenräume zwischen sich (Michel 19).

Es liegt, glaube ich, nahe, das besondere Verhalten der Ganglienzellenschichte in dem einen erwähnten Falle damit in Zusammenhang zu bringen, dass die Nervenfaserschicht zwischen Macula und Papille in diesem Auge ganz besonders dünn war und infolge dessen auch die Ganglienzellenschicht am nasalen Rande der Fovea weniger mächtig entwickelt war. Doch konnte ich nicht nachweisen, dass die Nervenfaserschichte am nasalen Ende der durch die Fovea gehenden horizontalen Schnitte im Vergleiche mit den Verhältnissen an anderen Netzhäuten deutlich dünner gewesen wäre. Immer kann man an Horizontalschnitten sehen, dass die Nervenfaserschichte in der nasalwärts gelegenen Hälfte der Schnitte dann bedeutend dünner ist, wenn die Schnitte ziemlich genau durch die Mitte der Fovea gehen, als wenn sie nahe dem Rande der Fovea liegen, sei es dass sie dieselbe noch enthalten oder nicht, trotzdem dass Horizontalschnitte eines viereckigen, die Fovea enthaltenden Netzhautstückes, welche durch die Mitte der Fovea gehen, an ihrem nasalen Ende der Papille näher liegen müssen, als Horizontalschnitte, welche ober- oder unterhalb der Mitte der Fovea gefallen sind.

H. Müller hat bereits angegeben, dass die Verdickung der Ganglienzellenschicht nach und nach auftritt, so dass sie auch nicht als Grenzmarke für den gelben Fleck verwendet werden kann. Die Strecke, in welcher mehr als eine Reihe von Ganglienzellen liegt, hat mehrere Millimeter im Durchmesser. Sie reicht nach H. Müller bis nahe an die Eintrittsstelle des Sehnerven, ohne sie ganz zu erreichen.

In allen von mir untersuchten Augen ergab sich, dass die Ganglienzellenschicht noch in einem grossen Umkreise um die Macula verdickt ist. Es liess sich dies besonders an solchen Schnitten nachweisen, wo die Papille und die Macula gleichzeitig im Schnitte vorlag und die Schnitte so lang waren, dass man auch noch ein grösseres Stück der Retina temporalwärts von der Fovea vor sich hatte. Ich konnte solche Präparate von 2 Augen untersuchen. Bereits am temporalen Rande der Papille ist die Ganglienzellenschichte dicker als am nasalen. An ersterem zeigt sich schon eine vollkommen doppelte Reihe von Ganglienzellen oder es liegen wenigstens mehrfach 2 Zellen übereinander. Noch in einem Abstande von 3 *mm* temporalwärts von der Mitte der Fovea war die Ganglienzellenschichte deutlich verdickt.

4. Die innere reticuläre Schicht.

Granulöse Schicht (H. Müller), innere granulierte Schicht (Henle), Neurospongium (W. Müller), innere plexiforme Schicht (R. y Cajal).

Tafel, Fig. 1 und 2, 4.

Wie schon aus den vorstehenden Auseinandersetzungen über die Ganglienzellenschicht hervorgeht, muss zufolge des von den meisten Autoren beschriebenen Zusammenfliessens der beiden gangliösen Schichten die innere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea fehlen. Nur bei M. Schultze (12) heisst es, dass in der Fovea alle Schichten der Netzhaut, mit Ausnahme derjenigen der Zapfen und der äusseren Körner bis auf ein Minimum schwinden. Und so stellt es auch M. Schultzes Abbildung dar. Nach Kuhnt (5) verschwindet zwar die innere reticuläre Schicht, indem sie sich allmählich verdünnt, am Grunde der Fovea, trennt aber die beiden gangliösen Schichten bis zuletzt von einander. H. Müller bemerkt, dass die innere reticuläre Schicht am Rande des gelben Fleckes oft etwas dicker als sonst gefunden wird, jedoch in geringem Grade, wohl nie über 0·045 *mm*. Schwalbe (6) beschreibt das Verhalten der Netzhautschichten in der Fovea nach einem Präparate Kuhnts in der Weise, dass die innere und äussere reticuläre Schicht im Gebiete der Macula nur eine geringe Dickenzunahme zeigen und am Grunde der Fovea auf ein Minimum reduciert, in eine minimale Schicht fein reticulierter Substanz von 1 μ Dicke übergehen. Schwalbe gibt auch eine entsprechende nach einem Präparate Kuhnts gezeichnete Abbildung.

Ich fand am Grunde der Fovea niemals eine innere reticuläre Schichte. Sie verschwand in einem Abstande von 0·075—0·3 *mm* von der Mitte der Fovea gänzlich und nur in einem Falle reichte diese Schichte bis zur Limitans interna, indem sie als äusserst zarter Streifen die beiden gangliösen Schichten von einander trennte. Eine Verdickung der inneren reticulären Schicht in der Gegend der dicksten Stelle der Retina am Rande der Fovea konnte ich nicht constatieren. Ja im Gegentheile, in drei Augen war die innere reticuläre Schicht am Rande der Fovea bereits etwas dünner als in der Umgebung. Im allgemeinen misst die innere reticuläre Schicht am Rande der Fovea 23—36 μ und erscheint entsprechend dem temporalen Rande der Fovea nicht deutlich dünner als am nasalen.

In den 3 erwähnten Netzhäuten war sie in der Entfernung von etwa 1·6—2·0 *mm* von der Mitte der Fovea um 4—10 μ dicker als am Rande der Fovea.

In der inneren reticulären Schicht finden sich vereinzelte Elemente der Ganglienzellenschicht sowie Zellen, welche man als sogenannte Spongioblasten betrachten muss. Solche zellige Einlagerungen in die innere reticuläre Schicht kommen, wie mich der Vergleich mit anderen Netzhautschnitten desselben Auges, von dem die betreffende Macula geschnitten worden war, gelehrt hat, in der Gegend der Macula in grösserer Zahl vor, als sonst im Hintergrunde des Auges. Diese Zellen liegen an Präparaten, die in Flemming'scher Lösung fixiert worden waren, in sehr scharf begrenzten rundlichen oder ovalen Hohlräumen, welche aber an Präparaten aus Salpetersäure oder Sublimat nicht wahrnehmbar waren. Es handelt sich hier um jene Hohlräume, welche Boll (18) als Kunstproducte bezeichnet hat.

5. Die äussere gangliöse Schicht (Henle).

Innere Körnerschicht.

Tafel, Fig. 1 und 2, 5.

Wir wollen zunächst davon absehen, dass in dieser Schichte verschiedene Elemente unterschieden werden, und sie als ein Ganzes betrachten.

Es war bereits davon die Rede, dass auch diese Schichte in 2 Fällen im Grunde der Fovea als zusammenhängende Schichte vollständig fehlte, nur hie und da fand sich ein vereinzeltes Korn in einer fein reticulierten Substanz, welche die Zapfenfaserlage am Grunde der Fovea bedeckte. In allen anderen der untersuchten Netzhäute war die Körnerschichte auch am Grunde der Fovea nachweisbar, doch nur als einfache Lage von Körnern, welche überdies sehr oft nicht knapp nebeneinander lagen, sondern durch grössere Zwischenräume oder dazwischen eingeschobene Ganglienzellen der Ganglienzellenschicht voneinander getrennt sind. Die letzteren sind besonders an den Präparaten aus Flemming'scher Lösung durch den grossen hellen sehr schwach tingierten Kern mit dem kräftig gefärbten Kernkörperchen leicht von den inneren Körnern zu unterscheiden. Diese haben einen kleineren Kern mit stärkerer Entwicklung der chromatischen Substanz und erscheinen daher dunkler gefärbt.

Die äussere gangliöse Schicht zeigt am Rande der Fovea eine sehr deutliche Verdickung. Während sie in der Umgebung der Papille 30—36 μ misst und bis 5 übereinander geschichtete Zellen enthält, misst sie am Rande der Fovea 60—70 μ und zeigt 8—10 Lagen von Zellen. Gewöhnlich ist sie am temporalen Rande der Fovea etwas dünner als am nasalen.

Bekanntlich hat man in der inneren Körnerschicht verschiedene Elemente unterschieden (Vintschgau).

W. Müller (20) hat eine innere an die innere reticuläre Schicht angrenzende Lage von grossen Zellen, welche sich mit Farbstoffen stärker färbt und nur einen Fortsatz, u. zw. in die innere reticuläre Schicht ausschickt, als Spongioblasten beschrieben, indem er sie als die Bildungszellen der inneren reticulären Schicht ansah. Die bipolaren inneren Körner bezeichnet W. Müller als die Zellen des Ganglion retinae. Ausserdem finden sich in der inneren Körnerschicht auch die Kerne der Müller'schen Radiärfasern. Ueber die nervöse Natur der inneren Körner hat nie ein Zweifel bestanden, die Spongioblasten aber werden von Müller als Zellen der Stützsubstanz angesehen, welche Ansicht auch Kuhnt vertritt, während Dogiel ebenso wie Tartuferi an der nervösen Natur dieser Gebilde festhalten. Dogiel (21) hat dann in der inneren Körnerschicht des Menschen multipolare Zellen gefunden, welche an die äussere reticuläre Schicht angrenzen. Sie liegen zu $^1/_3$ in der äusseren reticulären Schicht (von Dogiel im Anschlusse an W. Müller Schicht der Nervenansätze genannt) und zu $^2/_3$ in der inneren Körnerschicht und werden an Querschnitten der Retina von glänzenden horizontalen Linien geschnitten. Der Kern der Zelle liegt meist nach innen von dieser Linie, welche nach Dogiel dadurch gebildet wird, dass die Zellen platte Fortsätze in horizontaler Richtung entsenden, welche im Profil gesehen, als Linien erscheinen. Dadurch entsteht eine Reihe von kurzen Linien, welche an die von Merkel am äusseren Rande der äusseren reticulären Schicht beschriebenen Linien erinnern, von denen weiter unten die Rede sein wird. In der Gegend der Macula fehlen diese multipolaren Zellen, wie Dogiel angibt, ganz, oder sind sehr spärlich. Dogiel lässt zunächst die Frage offen, ob es sich hier um nervöse Elemente handelt oder ob dies jene bei Thieren von W. Müller gefundenen sogenannten tangentialen Fulcrumzellen sind. Auch Schwalbe und Krause (13) hatten schon früher ähnliche Zellen von

der menschlichen Retina beschrieben, und für nervöse Elemente erklärt. Schiefferdecker (22) fand dann in der Netzhaut von Säugethieren ebenfalls analoge Zellen, u. zw. kernhaltige und kernlose, welche er als dem Stützgewebe der Netzhaut angehörig auffasst und concentrische Stützzellen im Gegensatze zu den radiären Stützzellen (Radialfasern) nennt. Auch Kuhnt (14) beschreibt diese Zellen aus der Netzhaut des Menschen.

Nach Tartuferi (23) setzt sich die innere Körnerschicht (oder der zellige Theil der ersten Hirnschicht, nach Tartuferi) zusammen aus grossen oberflächlichen Zellen, welche der äusseren reticulären Schicht unmittelbar anliegen und hauptsächlich horizontale Fortsätze aussenden, welche das subepitheliale Netz in der äusseren reticulären Schicht bilden, aus Zellen von mittlerer Grösse oder sternförmigen Zellen, welche ebenfalls in ähnlicher Weise sich verästeln, endlich aus den Spongioblasten, welche aber Tartuferi als nervöse Zellen erklärt und von denen er 3 Formen nach dem Verlaufe und der Art ihrer Fortsätze unterscheidet.

Dogiel (24) hat später die Resultate seiner Untersuchungen der Netzhaut mittels der Ehrlich'schen Methylenblaufärbung mitgetheilt. Er unterscheidet in der inneren Körnerschicht zwei Gruppen von Zellen. Zu der ersten Gruppe (dem Ganglion retinae) gehören Zellen, deren Fortsätze hauptsächlich in den äusseren Schichten (Neuroepithelschicht und äussere reticuläre Schicht) und nur zum kleineren Theile in den inneren Netzhautschichten sich befinden. Die zweite Gruppe von Zellen bilden jene, deren Fortsätze nur in der inneren reticulären Schicht liegen. Die erste Gruppe enthält die grossen und die kleinen sternförmigen Zellen, welche eine einfache Lage an der äusseren reticulären Schicht bilden und die bipolaren Zellen (die inneren Körner), welche in verschiedener Entfernung von der äusseren reticulären Schicht liegen. Die grossen und die kleinen sternförmigen Zellen zeigen oft die schon früher von Dogiel beschriebenen Streifen, welche er als Leistchen an der Zellenoberfläche erklärt. Die Schichte der Müller'schen Spongioblasten wird von Dogiel die mittlere gangliöse Schicht genannt. Dogiel unterscheidet in dieser Schicht, deren Zellen alle nebeneinander in einer Reihe an der inneren Grenze der sogenannten inneren Körnerschicht liegen, zwei Untergruppen. Die erste Untergruppe enthält Zellen, welche nur protoplasmatische Fortsätze in der inneren reticulären Schicht hat, die Zellen der zweiten Untergruppe aber

Zellen, welche auch einen Achsencylinderfortsatz in die Nervenfaserschicht entsenden. Zu der ersten Untergruppe gehören die grossen Nervenzellen und die kleinen Nervenzellen, die Fortsätze der Zellen der zweiten Untergruppe bilden mit den Fortsätzen von Nervenzellen der inneren gangliösen Schicht drei verschiedene Plexus in der inneren reticulären Schicht, von denen der eine an der inneren Fläche, der andere an der äusseren Fläche dieser Schicht liegt, während der dritte an der Grenze zwischen innerem und mittlerem Drittel sich ausbreitet.

Im wesentlichen übereinstimmend, schildert auch Ramon y Cajal (25) den Bau der inneren Körnerschicht.

In neuester Zeit endlich hat Kallius (26) die Spongioblasten als parareticuläre Zellen bezeichnet.

Es war mir natürlich nach der ganzen Art meiner Untersuchung nicht möglich, diese einzelnen Zellarten, wie sie in vorstehender kurzer Uebersicht geschildert wurden, zu unterscheiden. Die Erkennung derselben beruht ja hauptsächlich auf der Beobachtung des Verlaufes und der Verästelung der Zellfortsätze, was an blossen senkrechten Durchschnitten und ohne besondere Färbemethoden nicht möglich ist. Immerhin will ich mittheilen, was für Unterschiede in Form, Grösse, Gestalt und Aussehen an den einzelnen Zellen der äusseren gangliösen Schicht wahrnehmbar waren.

Die Präparate verhielten sich in dieser Hinsicht wesentlich verschieden je nach der Art, wie sie gehärtet oder gefärbt worden waren. An einer sehr frischen Retina, welche in Sublimat gehärtet und dann mit Haematoxylin-Eosin gefärbt worden war, liess sich kein Unterschied zwischen den einzelnen Zellen der inneren Körnerschicht, weder in der Färbung noch in der Gestalt nachweisen. Eine ebenfalls sehr frische Netzhaut, die in Salpetersäure fixiert und dann mit Alauncarmin-Ammoniakcarmin gefärbt worden war, zeigte sowohl an der äusseren als an der inneren Begrenzung der Schicht eine fast vollständige Reihe von stärker gefärbten Elementen, die aber in ihrer Gestalt und Grösse nicht deutlich von den übrigen Elementen der Körnerschicht abwichen (Tafel, Fig. 1). Diese Zellen liessen sich gegen den Grund der Fovea hin nicht ganz so weit verfolgen als die übrigen weniger gefärbten Bestandtheile der inneren Körnerschicht. (Es war dies jener Fall, in welchem ein grosser Fundus foveae vorhanden war und wo die inneren Netzhautschichten (Gehirnschicht) am Grunde der Fovea ganz fehlten.)

Anders differenzierten sich die inneren Körner in jenen Präparaten, die in Flemming'scher Lösung gehärtet und mit Safranin oder mittels der Benda'schen Hämatoxylinfärbung tingiert waren. Hier zeigten sich am inneren Rande der inneren Körnerschicht, anstossend an die innere reticuläre Schicht Zellen mit rundem, ganz homogen aussehendem Kern und äusserst wenig Protoplasma, so wenig, dass sie vielfach nur als Kerne erschienen, welche aber durchaus das Färbemittel stärker angenommen hatten (siehe Taf. Fig. 2). Diese Kerne waren durchschnittlich kleiner als jene der übrigen Elemente der inneren Körnerschicht und massen 3·4—4·5 μ, während der Durchmesser der übrigen inneren Körner bis 7 μ betrug. Besonders deutlich sind die Kerne dieser Zellen von jenen der übrigen Körner, wenn sie mit Safranin gefärbt sind, bei etwas höherer Einstellung des Mikroskopes zu unterscheiden, dann wenn bereits die Zellcontouren zu verschwimmen anfangen. Unter diesen Umständen erscheint die mittlere Partie des Zellkernes hell rubinroth, von starkem Glanze, während die Seitentheile als dunkler rother Ring sich darstellen. Dadurch machen die Kerne einen wirklich plastischen, kugeligen Eindruck. Bei jener Einstellung, wo die Grenzen des Zellkernes scharf sichtbar sind, ist derselbe eine ganz gleichmässig gefärbte Scheibe, ungefähr von derselben dunkelrothen Farbe, wie sie früher nur die Randtheile des Kernes zeigten. Es beruht jenes Aussehen der Kerne bei etwas höherer Einstellung jedenfalls auf ihrer homogenen Beschaffenheit, so dass sie wie Convexlinsen wirken.

Diese Zellen fanden sich auch an den Schnitten der Netzhaut aus der Umgebung der Papille vor, doch nicht in so grosser Menge. Stets waren hier zwei einander zunächstliegende Zellen dieser Art durch einige Zellen vom Aussehen der übrigen inneren Körner oder durch etwas grössere Zellen als diese voneinander getrennt. In der Umgebung der Fovea nahm die Zahl der in Rede stehenden Zellen aber bedeutend zu und in manchen Augen bildeten sie besonders gegen den Rand der Fovea zu eine continuierliche Schicht, ja manchmal lagen daselbst 2—3 solcher Zellen übereinander. Alle diese Zellen befinden sich am inneren Rande der äusseren gangliösen Schicht und nur sehr selten liegt eine einzelne Zelle in den tieferen Lagen derselben. Stets werden diese Zellen gegen die Mitte der Fovea zu spärlicher und fehlen immer am Grunde derselben.

Von gleichem Aussehen wie die soeben beschriebenen Zellen waren auch jene, welche in der Ganglienzellenschicht und in der inneren reticulären Schicht als Spongioblasten erwähnt wurden.

Es verdient Erwähnung, dass dieselben endlich in dem einen jener zwei Fälle, bei welchen die innersten Netzhautschichten (Nervenfaserschicht und Ganglienzellenschicht) atrophisch waren, in voller Deutlichkeit und unverminderter Zahl sichtbar waren. (Es war diese Retina in Flemming'scher Lösung gehärtet worden, während die Retina des zweiten Falles in $3^1/_2{}^0/_0$ Salpetersäurelösung fixiert war.)

Im gleichen Niveau mit diesen Zellen, ebenfalls angrenzend an die innere reticuläre Schicht und eingestreut zwischen dieselben kamen Zellen vor, die ebenso gross oder manchmal deutlich grösser waren als die übrigen inneren Körner und sich in ihrem Aussehen und in ihrer Färbung gar nicht von diesen unterschieden, ferner in sehr geringer Zahl Zellen von dem Aussehen und der Grösse der Ganglienzellen der Ganglienzellenschicht, in denen der Kern aber an ihrem äusseren gegen die Stäbchenzapfenschichte gerichteten Ende lag, sich in dieser Beziehung also gerade umgekehrt verhielt als jener der Zellen der Ganglienzellenschicht im Bereiche der Macula (siehe Tafel, Fig. 2).

Dogiel beschreibt in einer seiner früheren Arbeiten (21) das Aussehen der Spongioblasten ganz entsprechend jenem, wie ich es oben von den kleineren Zellen erwähnt habe. Er gibt an, dass der Kern nach Behandlung mit Osmiumsäure ganz homogen oder leicht feinkörnig erscheint und den grössten Theil der Zelle erfüllt. Später unterscheidet Dogiel, wie oben erwähnt, zwei Untergruppen der Spongioblasten, von denen die erste — die grossen und die kleinen Nervenzellen enthaltende — die Hauptmasse dieser Spongioblastenschicht (mittleren gangliösen Schicht) ausmacht, während die Zellen der zweiten Untergruppe eigentlich dem Ganglion nervi optici angehören und nur weiter nach aussen vorgerückt sind, ähnlich wie die subepithelialen Nervenzellen weiter nach aussen gelagerte Zellen des Ganglion retinae sind. Zu dieser zweiten Untergruppe gehören wohl jene grossen Zellen vom Aussehen der Zellen des Ganglion nervi optici, deren Kern nach aussen gelagert ist, wodurch angezeigt ist, dass die Fortsätze dieser Zellen hauptsächlich in entgegengesetzter Richtung verlaufen als jene der Zellen des Ganglion optici, deren Kerne in der Macula lutea an dem dem Glaskörper zugekehrten Ende

der Ganglienzellen liegen. Jene kleinen Zellen mit dem homogenen, stark gefärbten Kern dürften aber wohl mit den kleinen Nervenzellen Dogiels identisch sein.

Die Vermehrung der Spongioblasten im Bereiche der Macula, wird auch von R. y Cajal (25) angegeben. Dieser Forscher vermuthet dass die Spongioblasten die von den Opticuscentren kommenden Reize auf die Ganglienzellen übertragen, da sie die einzigen Elemente sind, welche die Verzweigungen der centrifugalen Fasern in sich aufnehmen. Dass sie, trotzdem, dass ihre Fortsätze sich ebenso wie die der Ganglienzellen in der inneren reticulären Schicht verzweigen, eine andere Function haben, als die Ganglienzellen, darauf scheint mir auch der oben erwähnte Befund hinzudeuten, dass sie in einer Retina, in der die Ganglienzellenschicht atrophisch war, ganz unverändert sichtbar waren.

Von Zellen an der äusseren Grenze der inneren Körnerschicht, welche jene glänzenden horizontalen Linien tragen (multipolaren Zellen, grosse und kleine sternförmige Zellen Dogiels), konnte ich im Bereiche der Macula nichts wahrnehmen, wie dies auch Dogiel bereits hervorhebt.

6. *Aeussere reticuläre Schicht.*

Aeussere granulierte Schicht (Henle), Zwischenkörnerschicht (H. Müller), Schicht der Nervenansätze und der tangentialen Fulcrumzellen (W. Müller), Membrana fenestrata (W. Krause), äussere plexiforme Schicht (R. y Cajal).

Tafel, Fig. 1 und 2, 6.

Schon oben wurde bei der Beschreibung der inneren reticulären Schicht auch des Verhaltens der äusseren reticulären Schicht Erwähnung gethan. Hier soll noch ergänzend hinzugefügt werden, dass nach Kuhnts Angabe (5) auch die äussere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea vollständig verschwindet. Das was H. Müller als Zwischenkörnerschicht beschreibt umfasst zum Theil auch die äussere Faserschicht. Henle, der diese von der äusseren reticulären Schicht unterscheidet, lässt die äussere reticuläre Schicht früher ihr Ende erreichen als die innere. Die erstere ist nach seiner Darstellung, so weit die Fasern der äusseren Faserschichte in der Ebene der Retina streichen, nicht vorhanden. Nach Schwalbe (6) erfährt auch die äussere reticuläre Schichte im Gebiete der Macula nur eine geringe Dickenzunahme. Wadsworth (4) gibt an, dass die äussere reticuläre Schicht bis auf 0·2 *mm* vom Centrum der Fovea zu verfolgen ist.

Ich konnte an allen meinen Präparaten feststellen, dass die äussere reticuläre Schicht am Grunde der Fovea vollständig fehlt. Sie verschwindet stets früher als die innere reticuläre Schicht in einer Entfernung von 0·13 bis 0·39 *mm* von der Mitte der Fovea. Eine Verdickung derselben im Bereiche der Fovea konnte ich ebensowenig wie bei der inneren reticulären Schichte jemals wahrnehmen. Ihre Dicke beträgt in der Gegend der Netzhautanschwellung entsprechend dem nasalen oder temporalen Rande der Fovea 6 bis 12 μ. Von da an verschmächtigt sie sich allmählich gegen die Mitte der Fovea.

b) Neuroepithelschicht.

Äussere Faserschichte (Henle), Zapfenfaserschicht.

Tafel, Fig. 1 und 2, 7.

Diese Schichte, welche bekanntlich zuerst von Bergmann (27) beschrieben wurde, wird auch von H. Müller erwähnt, der sie als eine Verdickung der Zwischenkörnerschicht auffasst. Henle (28) hat den Namen der äusseren Faserschicht eingeführt, M. Schultze (2) dagegen wies in überzeugender Weise nach, dass es sich hier um keine besondere Schicht handelt, sondern nur um eine „besondere Modification der inneren Abtheilung der äusseren Körnerschicht“, welche im Baue der Fovea centralis bedingt ist. Henle hat übrigens das Vorkommen einer analogen, wenn auch nicht so ausgebildeten äusseren Faserschicht auch in anderen Partien der Retina nachgewiesen, worauf in neuester Zeit wieder Schaper (11) aufmerksam gemacht hat. In der Fovea häufen sich infolge des Mangels der Stäbchen die Zapfenfasern und da gleichzeitig die inneren Schichten der Netzhaut theils vollständig fehlen, theils reduciert sind, so müssen die Zapfenfas[illegible]ne der Netzhautoberfläche fast parallele Verlaufsrichtung ann[illegible]en, um zu den entsprechenden Partien der inneren Schichten zu gelangen.

Henle hat die von ihm sogenannte äussere Faserschichte genau beschrieben. Sie bildet nach ihm an der inneren Fläche der äusseren Körnerschichte eine 30 bis 40 μ dicke Lage, in der die einzelnen Fasern einen sanft welligen Verlauf nehmen. Hat der Schnitt die Fasern schräg auf ihren Verlauf getroffen, so zeigen sich bündelartige Ab-

theilungen derselben. Die einzelnen Fasern verlaufen aber nicht parallel der Ebene der Retina, sondern haben eine von der äusseren Körnerschichte zur äusseren granulierten Schichte aufsteigende Richtung und nur die sehr geringe Neigung ihres Ansteigens bewirkt nach Henle, dass so lange Strecken horizontal zu verlaufen scheinen. Henle vergleicht den Verlauf dieser liegenden Zapfenfasern mit jenem der Bündel des Musculus ileocostalis „indem immer Bündel von der einen Seite schräg herantreten und sich anlegen, während zugleich von dem entgegengesetzten Rande in gleicher Richtung Bündel abgehen". In der Entfernung von 2 *mm* vom Mittelpunkte der Fovea richten sich die liegenden Fasern allmählich auf und verlaufen dann radiär, ohne aber den welligen Verlauf ganz aufzugeben. Sie schliessen sich nun nicht mehr dicht aneinander, sondern lassen Zwischenräume zwischen sich, die oft eine elliptische Form haben, mit der längeren Achse senkrecht auf die Ebene der Netzhaut. Es wird dies nach der Beschreibung Henles dadurch bedingt, dass „die Fasern sich von aussen her zu Bündeln sammeln und gegen die Insertion an die nervöse Schicht wieder divergieren." Es ist hier die Insertion der Fasern an die äussere reticuläre Schicht gemeint. Henle vergleicht die Fasern mit einem lichten Walde von schlanken Stämmchen mit zusammenneigenden Kronen. Die Mächtigkeit dieser Schichte radiär verlaufender Fasern ist nicht genau bestimmbar, doch soll sie selten grösser sein als die der liegenden Faserschichte (30 bis 40 μ). Am dicksten erschien sie in einem Alkoholpräparate mit 70 μ. Henle fand stets in dem Umkreise der liegenden Fasern radiäre, kann aber nicht bestimmen, wie weit sich diese peripherwärts erstrecken. In einem Auge konnte Henle das Vorkommen einer Schicht radiärer Fasern noch in der Nähe der Ora serrata constatieren. Die Fasern der äusseren Faserschicht strahlen von dem Mittelpunkte der Fovea radienförmig nach allen Seiten aus.

M. Schultze (2) hat das Verhalten der Zapfenfasern im Bereiche der Macula genau studiert. Zunächst verlängern sich dieselben in der Peripherie des gelben Fleckes, behalten aber noch ihre radiäre Richtung bei, wodurch eine scheinbare Verdickung der äusseren reticulären Schicht entsteht. Je näher aber die Zapfen, von denen die betreffenden Zapfenfasern kommen, gegen die Mitte der Fovea zu liegen, desto mehr legen sich die Zapfenfasern in die meridionale Richtung um und verlängern sich immer mehr und mehr, so dass sie in der Mitte des gelben Fleckes eine geradezu enorme Länge

erreichen. Bezüglich des Verlaufes der einzelnen Fasern pflichtet M. Schultze dem von Henle gegebenen Vergleiche mit dem M. ileocostalis vollkommen bei.

Schaper (11) beschreibt und zeichnet die Structurverhältnisse in der Zapfenfaserschicht derart, dass die einzelnen Zapfenfasern in einer gestreckten ∿förmigen Bogenlinie verlaufen, indem sie in „steiler Richtung aus der äusseren Körnerschicht hervortretend eine Strecke weit mehr oder weniger in der Längsrichtung der Schicht verlaufen, um dann plötzlich mehrere zu einem Bündel vereint, fast senkrecht in die äussere granulierte Schicht auszulaufen. In gewisser Entfernung von dem Centrum der Fovea treten die Fasern auch aus der Körnerschicht in Bündel gruppiert aus."

Ich habe die Zapfenfaserschicht als eine selbständige Schichte angeführt, obwohl man den Ausführungen M. Schultzes, dass es sich hier nur um die verlängerten Zapfenfasern handelt, beipflichten muss, weil sie für die Gegend der Macula in dieser Ausbildung — wie dies auch allgemein angegeben wird — charakteristisch ist. Ich ziehe den Namen äussere Faserschicht jenem der Zapfenfaserschicht vor, weil diese Schichte auch ausserhalb jenes Bereiches zu finden ist, in dem nur Zapfen vorkommen, so dass in den peripheren Partien derselben wenigstens auch Stäbchenfasern enthalten sein müssen. Ich habe ferner die Angaben der Autoren über diese Schicht deshalb so ausführlich citiert, weil eben in dieser Schicht sich sehr häufig Veränderungen zeigen, welche es uns erklären, dass die Grösse und Form der Fovea, wie wir sie in vielen Präparaten wahrnehmen, nicht der Wirklichkeit entsprechen kann.

An wohlconservierten Präparaten, welche die Fovea in der früher bereits beschriebenen Gestalt und Grösse, wie sie auch mit den ophthalmoskopischen Erscheinungen vollständig übereinstimmt, zeigen, finden sich an im horizontalen Meridiane des Auges angelegten Schnitten folgende Verhältnisse der äusseren Faserschicht:

Bereits in einer Entfernung von mehr als 2 *mm* von der Mitte der Fovea beginnt die äussere Faserschicht sich zu verdicken, die Fasern stellen sich schräg, später fast ganz horizontal und die Schichte verdickt sich immer mehr und mehr, bis sie in einer, in verschiedenen Augen sehr wechselnden Entfernung von der Mitte der Fovea — 0·33—0·5 *mm* .

und mehr — ihre grösste Mächtigkeit erreicht. An dieser Stelle misst sie nasalwärts von der Mitte der Fovea 42—80 μ, an der Schläfenseite der Fovea 36—58 μ. Von hier an verschmälert sie sich entsprechend dem später zu besprechenden Vorrücken der äusseren Körner immer mehr und oft ziemlich rasch. In einem Bereiche von 0·15—0·45 *mm* ist am Grunde der Fovea keine eigentliche Zapfenfaserschicht mehr vorhanden.

Ich muss, sowie schon früher, ausdrücklich betonen, dass das, was wir als äussere Faserschichte bezeichnen, am Grunde der Fovea in der angegebenen Ausdehnung fehlt. Schaper (11) hat ganz Recht, wenn er sagt, dass, wenn Zapfenkörner am Grunde der Fovea sich finden, hier auch Zapfenfasern vorhanden sein müssen. Das was wir aber als Zapfenfaserschicht oder äussere Faserschicht (Henle) bezeichnen, wird durch die Zapfenfasern in ihrem Verlaufe zwischen dem Zapfenkorn und dem Ansatze der Zapfenfaser an der äusseren reticulären Schicht gebildet. In der ganzen Retina mit Ausnahme der Maculagegend existiert überhaupt nur dieser Theil der Zapfenfasern, indem die Zapfenkörner der Limitans externa dicht anliegen. In der Maculagegend aber rückt ein Theil der Zapfenkörner von der Limitans externa ab, da sie hier infolge der Vermehrung und endlich des ausschliesslichen Vorkommens der Zapfen nicht mehr in einer der Limitans externa anliegenden Reihe Platz haben. Am Grunde der Fovea centralis endlich, wo alle Zapfenkörner in einem gewissen Abstande von der Limitans externa liegen, besteht jede Zapfenfaser aus zwei Theilen: Einem, der zwischen Zapfenkorn und Limitans externa liegt, der andere, der von dem Zapfenkorn zur äusseren reticulären Schichte hinzieht, ganz so wie es von den Stäbchenfasern in der ganzen Ausdehnung der Retina gilt. Wenn also die äussere Faserschichte durch Verlängerung und Aufeinanderlagerung des zuletzt erwähnten Theiles der Zapfenfasern entsteht, so fehlt sie in der That in einer gewissen Ausdehnung am Grunde der Fovea ganz, denn hier rücken die äusseren Körner bis an die Reste der inneren Körnerschicht und Ganglienzellenschicht vor, eventuell, wenn auch diese Schichten fehlen, bis an die innere Oberfläche der Retina, so dass die Zapfenfasern nicht mehr in schräger, sondern in fast horizontaler Richtung zu ihnen treten (siehe Taf. Fig. 1 und 2). Die einzelnen Zapfenfasern, die hier noch zwischen den am weitesten nach innen gelagerten Zapfenkörnern, zu anderen mehr nach

aussen gegen die Limitans externa zu gelegenen hin verlaufen, kann man nicht mehr als eine Zapfenfaserschichte bezeichnen.

Es war also kein Irrthum meinerseits, als ich sagte, dass die Zapfenfaserschicht am Grunde der Fovea in einer gewissen Ausdehnung fehle. Ich muss vielmehr an dieser Angabe festhalten. Wollte man in der Mitte der Fovea (dort wo die Zapfenkörner von der Limitans externa abgerückt sind) die von den Zapfenkörnern zur Limitans verlaufenden äusseren Theile der Zapfenfasern als äussere Faserschichte bezeichnen, so würde diese Schichte mit dem, was wir sonst als Zapfenfaserschichte oder äussere Faserschichte benennen, kein Continuum bilden, vielmehr durch Zapfenkörner von ihr getrennt sein.

An vollständig gut fixierten Netzhäuten kann man ferner sehen, dass die Verlaufsrichtung der einzelnen Fasern in der Zapfenfaserschichte eine gestreckte, in den centralen Theilen der Macula der äusseren Oberfläche der Retina fast vollständig parallele ist. Erst in einiger Entfernung von der Mitte der Fovea verlaufen sie schräge in der Richtung von der äusseren reticulären Schicht gegen die äussere Körnerschicht und zugleich gegen die Mitte der Fovea zu. Gegen ihre Insertion an der äusseren reticulären Schichte biegen sie knapp an dieser um, ohne jene S-förmigen Biegungen zu zeigen, wie sie Schaper beschreibt und abbildet und ohne auch sich in Bündel mit dazwischen liegenden Spalträumen zu sondern. Dies ist ebenso wie der wellige Verlauf der Zapfenfasern, wie ihn Henle beschreibt, nur als Kunstproduct aufzufassen. Das gleiche gilt von den regelmässigen Vierecken, welche Merkel an der inneren Grenze der Zapfenfaserschicht erwähnt und abbildet und welche durch das rechtwinkelige Umbiegen der Zapfenfasern gegen die äussere reticuläre Schicht bedingt werden sollen.

Die äussere Faserschicht ist in Tafel, Fig. 1, in ihrem wahren Verhalten dargestellt. In Tafel, Fig. 2, ist die äussere Faserschicht an ihrer inneren und äusseren Begrenzung bereits nicht mehr ganz erhalten. An diesen beiden Stellen treten die Fasern mit auf kurze Strecke senkrechten Verlauf einerseits gegen die äussere Körnerschicht, andererseits gegen die äussere reticuläre Schichte aus der äusseren Faserschichte aus, indem sie kleine Zwischenräume zwischen sich lassen. Dass dies in der That nicht mehr völlig den natürlichen Verhältnissen entspricht, konnte ich ganz zweifellos durch Vergleich verschiedener Präparate untereinander constatieren.

In Augen, welche in Müller'scher Flüssigkeit gehärtet wurden, sieht man oft die Zapfenfasern fast vollständig senkrecht aufgestellt und die Zapfenfaserschicht dadurch zu einer riesigen Mächtigkeit angeschwollen. Die ganz exorbitanten Maasse von bis 170 μ, wie sie für dieselbe angegeben worden sind, haben in derlei künstlichen Verbildungen der Zapfenfasern ihre Ursache. Die äussere Faserschicht ist eben jene Schicht, in der sich am leichtesten Veränderungen zeigen. Ist doch schon seit H. Müller bekannt, dass die Netzhaut gerade in der Zwischenkörnerschicht nicht nur im Gebiete der Macula, sondern auch in anderen Gegenden, sich in zwei Blätter spalten lässt. Um wie viel mehr muss dies noch im Bereiche der Macula der Fall sein, wo die zarten Zapfenfasern eine so kolossale Länge erreichen. Immer wird durch solche Veränderungen der äusseren Faserschicht natürlich auch die Fovea verkleinert. Man braucht nur einen Blick auf die Abbildung von M. Schultze, Henle, Hulke, Schaper zu werfen und mit unserer Tafel, Fig. 1 und 2, zu vergleichen, um dies zu verstehen.

Es kommt natürlich hier ungemein viel auf die Wahl der Fixierungsflüssigkeit an. Schon Henle (10) hat darauf aufmerksam gemacht, dass gerade in der Müller'schen Flüssigkeit die äussere Faserschicht sich am stärksten verändert. Er vermuthet den Grund davon in der Schrumpfung des Glaskörpers, „dem die Sklera wegen ihrer natürlich durch die Einwirkung des Reagens noch erhöhten Festigkeit nicht folgen kann, was eine Dehnung der Retina in einer auf ihre Oberfläche senkrechten Richtung zur Folge haben muss." M. Schultze (2) nimmt zwar die Müller'sche Flüssigkeit gegen den Vorwurf, die Netzhaut in dieser Weise zu verändern, in Schutz, bemerkt aber doch auch, dass „durch künstliche Aufrichtung der schiefen Fasern zu rein radiären, Irrthümer in der Beurtheilung der Dicke der äusseren Körnerschicht" entstehen können. Diese Aufrichtung — theilweise, wie sie sich im welligen Verlaufe der Fasern ausspricht, oder vollständig — könnte wohl durch einen Zug von innen, von der Glaskörperseite hervorgerufen werden, doch ist nicht zu vergessen, dass sich hierbei die Gehirnschicht gegen die sogenannte Epithelschicht auch in einer zur Oberfläche der Retina parallelen Richtung verschieben muss, wenn die erwähnten Aenderungen im Verlaufe der Zapfenfasern und die damit verbundene Verkleinerung des Durchmessers der Fovea hervorgerufen werden soll.

Als diejenigen Mittel, welche die äussere Faserschichte am besten conservieren, muss in erster Linie die $3^1/_2{}^0/_0$ Salpetersäure, dann die Flemming'sche Lösung genannt werden und dies erklärt auch, warum wir bei Anwendung dieser Flüssigkeiten die Fovea in ihrer natürlichen Gestalt erhalten können. Die concentrierte Sublimatlösung leistet in dieser Richtung durchaus nicht dasselbe, wie ich mich an einem Auge überzeugen konnte, welches aus dem lebenden Körper enucleiert worden war und direct nach der Enucleation in Sublimatlösung gebracht wurde. Hier war die Retina um die Fovea in feine radiäre Falten gelegt und in der äusseren Faserschicht zeigte sich eine ähnliche Lückenbildung zwischen den einzelnen Fasern und eine ähnliche Verlaufsrichtung, wie sie von Schaper (11) gezeichnet wird. Infolge dieses abnormen Verlaufes der Zapfenfasern ist auch in der Zeichnung dieses letzteren Autors die Fovea abnorm klein, der Abfall ihrer Wandungen um vieles zu steil, nämlich etwa 45°.

Bereits M. Schultze (2) hat die kegelförmigen Enden der Zapfenfasern beschrieben, mit welchen sich diese an die äussere reticuläre Schicht ansetzen. Merkel (3) erwähnt dann das Vorkommen von plattenartigen Körpern in der äusseren granulierten Schicht, die in einer Reihe liegen und in ihrer Gesammtheit eine unterbrochene Linie nach Art der Hilfslinien in mathematischen Figuren bilden. In diesen plattenförmigen Gebilden sollen nach Merkel die Elemente der inneren Körnerschicht auslaufen, dagegen konnte Merkel nie einen Zusammenhang derselben mit den Zapfenfasern nachweisen. Merkel meint, man könnte versucht sein, den Nervenendigungen ihren Platz in diesen Körpern anzuweisen, wenn nicht die Zapfenfasern so deutlich das Gepräge von Nervenelementen trügen. Da nun Henle angibt, dass die einzelnen Abtheilungen jener unterbrochenen Linie identisch sind mit den Endpunkten der Zapfenfasern, so glaubte Merkel (29) durch Combination dieser zwei Befunde den Zusammenhang der Elemente der inneren Körnerschicht mit den Zapfenfasern gefunden zu haben. Er erklärt den Umstand, dass er nur den Zusammenhang mit den inneren Körnern aufgedeckt habe, während Henle die Verbindung mit den Zapfenfasern sah, dadurch, dass er und Henle verschiedene Theile der Retina untersucht haben. In den peripheren Theilen wäre es leicht zu constatieren, dass sich die Zapfenfasern in die erwähnten Körper fortsetzen, während daselbst die zarten Fasern zu den inneren Körnern leicht abreissen. In der

Gegend der Macula aber ist die Verbindung mit den Zapfenfasern eine lockerere als mit den verhältnismässig derben Fasern der inneren Körnerschicht. Durch eine besondere Präparation gelang es Merkel die plattenförmigen Gebilde sowohl mit den Zapfenfasern als mit den von den inneren Körnern kommenden Fasern darzustellen. Es stellte sich dabei heraus, dass jene strichförmigen Gebilde keine Platten sondern Ringe sind, welche nach Merkel, der die Zapfenfaser umhüllenden Scheide angehören, in welche sie im Bereiche der äusseren reticulären Schicht endigt. Die verschiedenen Angaben der Autoren über die Endigung der Zapfenfasern (nach M. Schultze und Schwalbe kegelförmig, nach Henle mehr kugelförmig, mit Fortsätzen versehen [Hasse, Merkel]) erklärt Merkel durch postmortale Veränderungen, die dadurch bedingt sind, dass die Zapfenfasern eine Scheide besitzen und dass dieselbe eine grosse Neigung zur Varicositätenbildung hat. Oft soll auch die Zapfenfaser einen vacuolenartigen Tropfen ausscheiden. Ist derselbe grösser, so erscheint er der Zapfenfaser oft einseitig angelagert. Manchmal ist die Scheide auch vollständig gesprengt.

Spätere Untersuchungen, namentlich von Dogiel, haben dann ergeben, dass eine directe Verbindung zwischen den bipolaren Zellen der inneren Körnerschicht und zwischen den Zapfen- (und auch Stäbchen-) Fasern nicht existiert. Die äusseren Fortsätze der bipolaren Zellen der inneren Körnerschicht gehen in der äusseren reticulären Schicht in die von Dogiel (21) sogenannten „körnigen Klümpchen“ über, welche sich an die Basis der Anschwellung der Stäbchen- oder Zapfenfüsse anlegen, ohne mit ihnen zusammenzuhängen. Die körnigen Klümpchen, welche den Zapfenfüssen anliegen, erzeugen dann, im Profil gesehen, das Bild einer unterbrochenen Linie. In einer späteren Arbeit bezeichnet Dogiel mit Wahrscheinlichkeit die körnigen Klümpchen als die terminalen Netzchen der äusseren Fortsätze der grossen sternförmigen Zellen. Nach Tartuferi (23) würden aber die kegelförmigen Anschwellungen der Zapfenfasern Fibrillen aussenden, welche die einzelnen Zapfenkegel miteinander verbinden und ein der Netzhautoberfläche parallel liegendes Netz bilden, unter welchem dann ein von den Fortsätzen der Elemente der inneren Körnerschicht gebildetes Netz liegt.

Borysikiewicz (30) findet „im Bereiche der Macula dicht unter der äusseren granulierten Schicht ein Stratum, welches aus cubischen Gebilden besteht, die in ihrer Mitte ein oder zwei

dunkle Körnchen zeigen. Die einzelnen Gebilde sind stark lichtbrechend, tingieren sich mit Hämatoxylin und Osmiumsäure in geringem Grade und fehlen im Centrum der Fovea vollständig". Dort, wo sie sich, wenn man von der Mitte der Fovea ausgeht, zuerst zeigen, sind sie klein, weiter gegen die Peripherie werden sie höher und schmäler. Ausserhalb der Macula konnte Borysikiewicz diese Körperchen nicht vorfinden.

Ich kann nun mit voller Gewissheit aussagen, dass es sich bei dem, was Borysikiewicz beschreibt, um nichts anderes handeln kann, als um die Zapfenfaserkegel. Dieselben fehlen allerdings am Grunde der Fovea, u. zw. in derselben Ausdehnung, in welcher, wie oben angegeben wurde, die äussere reticuläre Schicht fehlt. Auch sind sie in der Gegend der Macula und besonders in den centralen Partien derselben, dort, wo sie zuerst sichtbar werden, kleiner als in den übrigen Theilen der Retina. Dies wird bereits von Dogiel (21) angegeben. Ich fand ihre Breite nahe der Mitte der Fovea gleich 3—3·5 μ, in einiger Entfernung vom Rande der Fovea etwa 4·5 μ. Auch bemerkt Dogiel, dass die Anschwellungen der Zapfenfüsse im Bereiche der Macula durch längere Einwirkung von Osmiumsäure „fast schwarz gefärbt werden. Die Ränder der Anschwellungen der Zapfenfasern erscheinen scharf begrenzt in Gestalt dunkler, die Klümpchen verdeckender Linien". Ich fand die Zapfenfaserkegel an den in Flemming'scher Lösung gehärteten Netzhäuten öfters ziemlich stark verbildet. Manchmal erscheinen sie wirklich nur als ganz zarte, horizontale, kurze, dunkle Linien; ein andermal wieder aber als ganz deutliche flache Kegel. Reisst nun, was häufig geschieht, die Zapfernfaser von ihrem Fusse ab, so bleibt der letztere als ein kegelförmiges oder auch unregelmässig cubisches Gebilde an der äusseren reticulären Schichte haften (Tafel, Fig. 3 c, d, e). Oft kann man dann den Rest der Zapfenfaser als eine kurze Prominenz an dem Zapfenfasernkegel erkennen und sieht dann an der Zapfenfaserschichte die entsprechende abgerissene Zapfenfaser hervorragen (Tafel, Fig. 3 b), oder man bemerkt die Stelle, an der die Zapfenfaser abgerissen ist, nur durch einen kleinen rundlichen Fleck an der der äusseren Faserschichte zugewendeten Seite des Zapfenfaserkegels (Tafel, Fig. 3 d). Kommt aber der Zapfenfaserkegel, von dem die Zapfenfaser abgerissen ist, nicht im Profil zur Beobachtung, sondern wendet derselbe, wie dies leicht durch einen schiefen Schnitt oder durch eine leichte Verschiebung zwischen der

äusseren Faserschichte und der äusseren reticulären Schichte geschehen kann, seine obere oder untere Seite ganz oder theilweise gegen das Auge des Untersuchers, so erscheint die Stelle, an welcher die Zapfenfaser abgerissen ist oder wohl auch ein kurzer Stumpf derselben als ein dunkles Pünktchen, welches an ein Kernkörperchen im Aussehen erinnert. (Tafel, Fig. 3 e).

Die soeben beschriebene Entstehung derselben lässt sich durch Vergleichung vieler Zapfenfaserkegel — gut erhaltener und bereits veränderter — mit einer allen Zweifel ausschliessenden Gewissheit feststellen. Diese dunklen Körperchen erscheinen ganz ebenso wie die Querschnitte der abgerissenen Enden der Zapfenfasern, ob sie nun an dem Zapfenfaserkegel hängen oder aus der Fasermasse der Zapfenfaserschichte hervorragen, bei tiefer Einstellung, welche ihre Contouren deutlich hervortreten lässt, als dunkle Flecke. Hebt man den Tubus des Mikroskopes etwas, so verwandeln sie sich in einen hell glänzenden Fleck, der von einem dunklen schattenartigen Ring begrenzt wird. Es deutet das auf eine nach oben convexe Fläche hin, durch welche der Stumpf der Zapfenfaser begrenzt wird.

In dieser Weise erscheinen die Verhältnisse natürlich nur an sonst gut erhaltenen Netzhäuten, während in anderen Fällen sich die Zapfenfaserkegel noch stärker verändert zeigen. Diese durch Abreissen der Zapfenfasern entstandenen Gebilde finden sich aber nicht nur in der Maculagegend, sondern auch sonst in der Retina, natürlich nur spärlicher.

Uebrigens hat bereits im Jahre 1876 Merkel (28) die dunklen Körperchen beschrieben und abgebildet, bringt aber ihre Entstehung mit Varicositätenbildung in Zusammenhang. Auch er hebt bereits ihre Aehnlichkeit mit Kernkörperchen hervor. Ich würde diese Dinge, als längst bekannt gar nicht erwähnt haben, wenn eben nicht neuerdings Borysikiewicz jene künstlich von den Zapfenfasern abgetrennten Zapfenfaserkegel als eine besondere Schichte aufgefasst hätte.

Borysikiewicz stellt übrigens die Sache in einer früheren Arbeit (31) anders dar. Hier sieht man in Fig. 24, 25 und 34 Zapfenfaserkegel abgebildet, u. zw. aus der Gegend der Macula, welche aber einen Kern enthalten. Borysikiewicz lässt nach seinen Untersuchungen die Müller'schen Radialfasern an der Limitans interna ihren Ursprung nehmen und in Form von Stäbchen und Zapfen ihr Ende erreichen, eine Ansicht, die übrigens lange vor ihm bereits W. Krause

aufgestellt hat. Aus der Beschreibung der Abbildungen geht hervor, dass Borysikiewicz diesen Kern als den Kern der mittleren Abtheilung der Radialfaser ansieht. Ein solcher Kern innerhalb der Zapfenfaserkegel ist, wie man sich leicht und auf den ersten Blick an jedem wohl erhaltenen Netzhautpräparate mit Bestimmtheit überzeugen kann, nicht vorhanden; auch die Verbindung derselben mit den Müller'schen Fasern existiert nicht.

An den Zapfenfaserkegeln aus der Gegend der Macula sieht man, wie Dogiel schon hervorhebt, die sogenannten Dogiel'schen körnigen Klümpchen nur undeutlich oder gar nicht, indem sie leicht durch die Zapfenfaserkegel verdeckt werden. In anderen Theilen der Netzhaut kann man aber deutlich erkennen, dass der Zapfenfaserkegel an seiner unteren Seite etwas ausgehöhlt ist und dass dieser Aushöhlung jenes körnige Klümpchen, welches sich z. B. mit Eosin öfters stärker färbt als der Zapfenfaserkegel, anliegt (Tafel, Fig. 4 a). An Netzhäuten, welche nicht mehr vollkommen frisch in die Flemming'sche Lösung gebracht worden sind, kann man dann wahrnehmen, wie die Zapfenfaserkegel — ich spreche jetzt zunächst nicht von der Gegend der Macula lutea — sich von den körnigen Klümpchen abheben, so dass zunächst ein spaltförmiger Zwischenraum zwischen beiden entsteht (Tafel, Fig. 4 b). Dieses Verhalten wird bereits von Dogiel (21) abgebildet und beschrieben. Ich konnte dann weiter sehen, dass dieser Zwischenraum immer grösser wird und schliesslich ein ganz blasenförmiges Aussehen annehmen kann. Die Zapfenfaserkegel selbst werden dabei immer schlanker und erscheinen im Durchschnitte als ein bogenförmiger Strich, an dessen grösster Convexität die Zapfenfaser sich ansetzt (Tafel, Fig. 4 c). Merkel (29) hat diese Hohlräume ebenfalls gesehen, sie aber als Vacuolen, welche sich in dem Zapfenfaserkegel bilden, erklärt.

Bei noch weiter vorgeschrittenen Veränderungen in dieser Schichte der Retina lösen sich dann die Zapfenfaserkegel vollständig aus ihrem Zusammenhange mit der äusseren reticulären Schicht ab und es erscheint dann das verbildete körnige Klümpchen als ein kurzer Strich an der äusseren Grenze der reticulären Schicht und nach aussen davon ein grösserer Hohlraum, welcher bis zur äusseren Körnerschicht reicht. Gerade in diesem Zustande sind jene kurzen Striche, welche sich zu einer Art gestrichelten Linie an der äusseren Grenze der äusseren reticulären Schichte zusammensetzen, sehr auffallend. Diese Ablösung

des Zapfenfaserkegels von dem körnigen Klümpchen scheint aber in der Gegend der Macula viel schwerer zu erfolgen, da ich sie hier oft nicht traf, während sie in anderen Theilen der Retina eingetreten war.

8. *Die äussere Körnerschicht.*

Zapfen und Stäbchenkörner.

Tafel, Fig. 1 und 2, s.

Sämmtliche Beobachter bis auf Hulke (1) führen die äussere Körnerschicht unter jenen Schichten an, welche am Grunde der Fovea erhalten sind. H. Müller (9) spricht von einer Verdünnung der äusseren Körnerschicht; die Abbildung M. Schultzes (2) aber zeigt die äussere Körnerschicht in einer gleichmässig dicken Lage in und ausser dem Bereiche der Fovea. Nach Merkel ist die äussere Körnerschicht in der Fovea verdickt. Wadsworth (4) gibt an, dass diese Schichte, welche gegen den Rand des Abhanges der Fovea nur 4—5 Körner übereinander zeigt und 30 μ dick ist, weiter gegen die Mitte der Fovea zunimmt und in der Mitte der Fovea selbst fast die doppelte Dicke — also 60 μ — erreicht. Während M. Schultze, Henle und auch Kuhnt die äusseren Körner der Limitans externa unmittelbar anliegen lassen, besteht nach Schwalbe (6) in den centralen Partien der Fovea ein Zwischenraum von 12 μ zwischen beiden. Dieser verschmälert sich nach der Peripherie hin allmählich und die Zapfenkörner schliessen sich der Limitans externa wieder an. So werden die Verhältnisse auch von Schaper (11) abgebildet. Er erwähnt, dass die äussere Körnerschicht bis dicht an den Fundus foveae heran nicht dicker ist als in den übrigen Partien der Retina, eher sogar dünner als in der Umgebung der Macula. Nach Borysikiewicz (30) endlich erscheint die äussere Körnerschicht in der Mitte der Fovea wesentlich verbreitert und besteht hier aus 5—6 Reihen.

Meine Untersuchungen haben nun gezeigt, dass die äussere Körnerschicht im Bereiche der Macula, abgesehen von den centralen Partien derselben, constant etwas dünner ist als in den benachbarten Partien der Retina. Betrachten wir einen horizontalen Schnitt, so misst die äussere Körnerschicht in der Entfernung von etwa 2—2·5 *mm* von der Mitte der Fovea nasalwärts 30—45 μ und es liegen hier 5—7 Körner übereinander. Gegen den Rand der Fovea zu wird sie allmählich dünner und erreicht den stärksten Grad der Verdünnung etwa dem Beginne des Clivus ent-

sprechend. Hier hat sie nur 21—30 μ, mit 3—4, höchstens 5 übereinander liegenden Körnern. Dann nimmt sie aber gegen die Mitte der Fovea hin wieder zu, ganz entsprechend der dort erfolgenden Abnahme der Zapfenfaserschichte. Dabei liegen aber jetzt, wie dies bereits von anderen Beobachtern angegeben wurde, die Zapfenkörner hier lange nicht so dicht beieinander, so dass die Vermehrung der Elemente durchaus nicht der Verdickung der Schichte, wie sie sich uns bei oberflächlicher Betrachtung darstellt, entsprechen kann. Auch liegen die Zapfenkörner hier in schräger Richtung angeordnet zwischen den in dieser Richtung sich gegen die Mitte der Fovea einsenkenden Zapfenfasern. Eine ovale Gestalt der Zapfenkörner habe ich nie gefunden, wie ich Schaper (11) gegenüber hervorheben muss. Noch mehr gegen die Mitte der Foveola nimmt die Dicke der Schicht aber wieder sehr rasch ab, so dass in der centralsten Partie, dort wo eine eigentliche Zapfenfaserschicht, wie oben erwähnt, fehlt, nur 2—3 Zapfenkörner übereinander liegen und auch diese nicht in Reihen, sondern ganz unregelmässig durcheinander stets durch grössere Zwischenräume getrennt, welche von Zapfenfasern, sei es in ihrem Verlaufe von dem Zapfenkorn zum Zapfen oder von der äusseren reticulären Schichte gegen die Zapfenkörner, durchsetzt wird.

Gleichzeitig mit dieser centralen Verdünnung der Zapfenkörnerschicht rücken aber die Zapfenkörner von der Limitans externa ab, so dass sie sich dort, wo keine eigentliche Zapfenfaserschichte mehr vorhanden ist, direct an die daselbst etwa vorhandenen inneren Körner und Zellen der Ganglienzellenschichte anschliessen. Fehlen auch diese und zeigt sich nur jener dünne Saum reticulierter Substanz als letzter Rest der Gehirnschicht, so sind die Zapfenkörner bloss durch diese dünne Lage vom Glaskörper getrennt, liegen also sozusagen hier fast vollständig zutage. Nie aber, auch dann nicht, wenn die Fovea, wie in diesem zuletzt erwähnten Falle, eine sehr flache war, konnte ich ein völliges Fehlen der Zapfenkörner in der Mitte der Fovea constatieren.

Das Abrücken der Zapfenkörner von der Limitans externa erfolgt ungefähr in der Ausdehnung von 0·3 bis 0·5 *mm* und es hat der zapfenkörnerfreie Raum nach vorn von der Limitans externa eine flach hügelförmige Gestalt. Die grösste Entfernung der Zapfenkörner von der Limitans externa in der Mitte beträgt bis 27 μ.

Auch in der temporalen Hälfte der Fovea zeigt sich, wenn wir die Verhältnisse in einem horizontalen Schnitte verfolgen, ein ganz analoges Verhalten der äusseren Körnerschicht. Auch hier ist sie zunächst wieder dicker und dann entsprechend etwa dem Beginne des Clivus, dort wo derselbe vom temporalen Rande der Fovea gegen die Mitte zu hinabsteigt, am dünnsten. Sie wird dann zwar wieder mächtiger, doch erreicht sie nicht jene Stärke wie an der nasalen Seite. 2 bis 2·5 *mm* temporalwärts von der Mitte der Fovea misst sie 27 bis 30 μ.

Die hier gegebene Beschreibung weicht also sehr wesentlich von der von Schwalbe gegebenen Abbildung ab. Dort hat die vordere Begrenzungslinie der äusseren Körnerschichte durchwegs einen der äusseren Oberfläche der Retina ganz parallelen Verlauf, die Zapfenfaserschichte zeigt hier auch ganz in der Mitte der Fovea genau dasselbe Verhalten wie an der Peripherie, in der dem Clivus entsprechenden Partie. Dies habe ich nie gesehen. Immer bildet die vordere Begrenzung der äusseren Körnerschichte im Centrum der Fovea nach vorne zu eine Verwölbung, eine Art Papille und dieser Stelle entsprechend fehlt auch die äussere Zapfenfaserschichte in dem Sinne wie ich es oben auseinandergesetzt habe. Die Zeichnung Schapers gibt zwar die Verhältnisse der äusseren Körnerschicht grösstentheils so wieder, wie ich es oben angegeben habe und wie es Tafel, Fig. 1 und 2 darstellt, doch nicht die Verhältnisse der Zapfenfaserschichte zur äusseren Körnerschicht wie ich sie als die Norm ansehen muss. In ähnlicher Weise, wie ich es hier geschildert habe, wird die äussere Körnerschicht von Chievitz (32) beschrieben.

Von Henle wird, wie oben bereits erwähnt wurde, angegeben, dass die beiden gangliösen Schichten am Grunde der Fovea mit der (äusseren) Körnerschicht zu einer Körnerlage zusammenfliessen, „in welcher an gehärteten Präparaten, die man allein zu solchen Schnitten verwenden kann, die Grenzen der einzelnen Schichten nicht mehr erkennbar sind“. Ich kann dies im allgemeinen nicht bestätigen. Die Zapfenkörner sind sehr wohl durch ihre Beziehungen zur äusseren Faserschichte von den Resten der Gehirnschichte zu unterscheiden, in welcher man wieder, wie oben erwähnt, die inneren Körner und die Ganglienzellen als differente Gebilde erkennen kann, wenn auch hier die Elemente dieser Schichten oft nicht vollständig voneinander getrennt, sondern gleichsam durcheinander gewürfelt sind. Höchstens bezüglich

einzelner, ganz in der Mitte der Fovea gelegener Zapfenkörner könnte man im Zweifel sein, und dieselben auch wohl für innere Körner halten. Sehr oft hebt sich übrigens der in der Mitte der Fovea noch vorhandene Rest der Gehirnschicht von den darunter liegenden Theilen im Zusammenhange ab und wird dann durch eine schmale von einzelnen Fasern durchzogene Spalte von diesen getrennt.

9. *Membrana limitans externa.*

Tafel, Fig. 1 und 2, 9.

M. Schultze und ebenso später Wadsworth fanden eine Vorbauchung der Limitans externa nach vorne zu. Ich muss mich dagegen der Darstellung von Merkel, Henle, Schwalbe, Kuhnt anschliessen, dass die Limitans externa auch am Grunde der Fovea völlig geradlinig verläuft. Ich konnte dies direct zwar nur in einem Falle, wo die Retina mit der Chorioidea im Zusammenhange geblieben war, wahrnehmen, doch war es auch in allen anderen Fällen mit Sicherheit zu erschliessen.

Wir haben oben (Seite 8) bereits die Veränderungen der Retina im Bereiche der Foveola beschrieben, wie sie sich auch in ganz frischen Augen vorfinden. Die Foveola ist weniger stark nach vorn concav gekrümmt, oder es ist die innere Oberfläche der Retina an ihrer Stelle plan oder selbst leicht nach vorn convex. Dies hat zur Folge, dass sich die Limitans externa ebenfalls nach vorne convex krümmt, u. zw. meist ungefähr in einer der Foveola entsprechenden oder etwas grösseren Ausdehnung (0·12 bis 0·4 *mm*). Immer aber konnte man wahrnehmen, dass die Zapfenschicht genau der von der Limitans gebildeten nach vorn gerichteten Convexität folgt. Die Verbindungslinie der Enden der Zapfenaussenglieder beschreibt einen der Limitans externa vollkommen concentrischen Bogen.

10. *Die Stäbchen-Zapfenschicht.*

Tafel, Fig. 1 und 2, 10.

Sowohl die Länge als ganz besonders die Breite der Zapfen in der Gegend der Fovea hat die Anatomen und Physiologen stets sehr interessiert. Was ihre Länge betrifft, so wird zwar angegeben, dass sie bedeutend länger sind, als die Zapfen in der übrigen Retina, doch gehen die von den verschiedenen Untersuchern gefundenen Maasse bedeutend auseinander. Ihre Länge soll betragen: nach Merkel (3)

50 μ. nach Kuhnt (5) 60—75 μ, nach M. Schultze (2) bis 100 μ (sammt dem Pigmentepithel), nach Wadsworth (4) 70 μ, nach Schaffer (33) in der Mitte der Fovea 60 μ, nach Schaper (11) 50 μ. Die Dicke der Zapfeninnenglieder hat M. Schultze mit 2·8 μ gemessen (die Schrumpfung in der Müller'schen Flüssigkeit in Rechnung gezogen), H. Müller mit 1·5—2 μ, Merkel mit 3 μ, Kuhnt mit 2—2·5 μ, Wadsworth mit 2·5 μ, Schaper mit 2 μ; Welcker (34) fand sie an der völlig frischen Netzhaut eines hingerichteten 64jährigen Mannes = 3·1—3·6 μ.

Ich habe bereits die Messungen der Zapfen in der Fovea von 2 Fällen publiciert (7), wo ihre Länge mit 38—41 μ, resp. 36 μ, die Dicke der Innenglieder mit 3—3·5 μ gefunden wurde. In dem einen Falle war die Netzhaut in $3^1/_2$% Salpetersäure und dann in Alkohol, in dem anderen Falle mit Flemming'scher Lösung fixiert worden. Von den später untersuchten Netzhäuten fanden sich ebenfalls zwei Fälle, in denen die Zapfen ganz in der Mitte der Fovea so gut erhalten waren, dass man sie zur Messung verwenden konnte. Ihre Länge betrug hier 38—40 μ, ihre Dicke 2·3—2·5 μ. Von dem einen dieser Augen, das wegen eines Orbitaltumors vom lebenden Körper enucleiert und gleich nach der Enucleation in Sublimatlösung gebracht worden war, — die Retina war bei der Härtung der Chorioidea flach anliegend fixiert worden — wurde auch an Schnitten aus der Umgebung der Macula die Länge der Stäbchen und Zapfen gemessen. Es zeigten die Stäbchen eine Länge von 38—40 μ und eine Dicke der Innenglieder von 2 μ. Die Zapfen hatten eine Gesammtlänge von 28—30 μ, wobei etwa die Hälfte auf die Innenglieder entfiel. Die Breite der Innenglieder war 6·3—6·9 μ. Die Stäbchen und Zapfen waren vorzüglich erhalten und die Messungen wurden an jenen Elementen vorgenommen, welche keine zufälligen Veränderungen, als Verbiegungen etc. zeigten.

Untersucht man Schnitte von Netzhäuten, welche in Müller-scher Flüssigkeit gehärtet worden waren, so findet man die Fovea sehr klein mit steil abfallenden Rändern, in Grösse und Form ganz so wie sie früher stets beschrieben wurde. Die Limitans externa erscheint nach innen convex und die Zapfen an dieser Stelle ungemein verlängert. Die Müller'sche Flüssigkeit ist eben, wie dies auch schon von anderen Seiten betont worden ist, zur Fixierung der Netzhaut völlig ungeeignet. In der That hebt sich die Retina in Augen, welche

in Müller'sche Flüssigkeit gelegt wurden, stets in Falten von ihrer Unterlage ab. Es ist klar, dass diese Ablösung der Netzhaut nicht ohne Verlagerung und Gestalts- und Grössenveränderung in den einzelnen Theilen vor sich gehen kann, ja die Ablösung einer Retina, welche in völlig normalem Zustande und der Chorioidea vollkommen anliegend in die Härtungsflüssigkeit gebracht wurde, ist eben der Ausdruck derartiger Veränderungen ihrer Structur. Dass dies wirklich so ist, kann man direct an Schnitten von in Müller'scher Flüssigkeit gehärteten Netzhäuten wahrnehmen. Die Limitans externa zeigt hier zwar auch jene Convexität nach vorne, wie sie bei Verwendung von Salpetersäure, Sublimat oder Flemming'scher Lösung sich einstellt. Während aber unter der Einwirkung dieser letzteren rasch einwirkenden Fixierungsmittel die Zapfen in der Fovea ihre Gestalt nicht ändern, werden sie während der langsamen Einwirkung der Müller'schen Flüssigkeit in der Mitte der Fovea im Bereich jener Verbiegung der Limitans externa in unnatürlicher Weise in die Länge gezogen, wobei sie mit dem Pigmentepithel in Zusammenhang bleiben oder sich von demselben auch ablösen.

Verläuft die Membrana limitans externa nun, wie wir es oben erwähnt haben, auch im Bereiche der Fovea völlig geradlinig, der äusseren Oberfläche der Retina parallel, dann kann die Länge der Zapfen auch in der Mitte der Fovea nicht über die für diese Entfernung von der Papille normale Länge der Stäbchen steigen. Wir haben aber oben gesehen, dass die Länge der Zapfen in der Mitte der Fovea nach unseren Messungen sogar erheblich hinter der Länge der Stäbchen, die gewöhnlich mit 50—60 μ. angegeben wird, zurückbleibt. Um diesen Widerspruch aufzuklären habe ich daher auch die Stäbchen in Netzhautschnitten gemessen, welche ungefähr ebensoweit von der Papille entfernt waren wie die Maculagegend. In der That zeigten dieselben hier, wie oben erwähnt, eine Länge, welche mit jener der Zapfen in der Mitte der Fovea völlig übereinstimmt. Ich kann also nach meinen Messungen aussagen, dass die Stäbchen aus dem Hintergrunde des Auges überhaupt kürzer sind, als gewöhnlich angegeben wird. Ihre Länge ist 38—40 μ.

Die Zapfen in der Gegend der Macula sind länger und schlanker als die aus anderen Partien der Retina. Sie erreichen in der Mitte der Fovea jene Länge, die die Stäbchen sonst in den hintersten Theilen der Retina besitzen, also

bis 40 μ. In Tafel Fig. 5 sind in a und b Zapfen und Stäbchen aus den hinteren Theilen der Retina, in f ein Zapfen aus der Mitte der Fovea mit dem Zeichenapparate ganz genau abgezeichnet und nebeneinander auf der Limitans externa dargestellt, um ihre relativen Grössenverhältnisse zu zeigen.

Eine schräge Stellung der Zapfen am Grunde der Fovea, wie sie von Kuhnt (5) beschrieben wurde, ist wohl öfter zu sehen, ist aber ganz bestimmt nur ein Kunstproduct.

In einer ausgezeichnet erhaltenen Netzhaut, die von einem Auge stammte, welches unmittelbar nach der am Lebenden vorgenommenen Enucleation in Sublimat gelegt worden war, fand ich zahlreiche Zapfen, deren Kerne vor der Limitans lagen. Diese Zapfen unterschieden sich aber auch sonst noch von den gewöhnlichen Zapfen. Sie waren etwas schmäler, an ihrem inneren den Kern enthaltenden Ende etwa 4·6 μ dick und 21—25 μ lang, also etwas kürzer als die übrigen Zapfen. Ihr innerer Theil ist nahezu vollkommen cylindrisch, ihr äusseres Drittel etwa spitzt sich ziemlich rasch zu. Eine Trennung in ein Aussen- und ein Innenglied lässt sich nicht wahrnehmen (Tafel, Fig. 5 c). Sie sind durchwegs etwas stärker mit Eosin färbbar und fallen hierdurch, sowie durch den längsovalen, mit seinem kürzeren Durchmesser fast die ganze Breite einnehmenden Kern sehr auf. Zahlreiche von diesen Gebilden zeigen sich in ihren äusseren Theilen verändert. In einiger Entfernung unter der Spitze bildet sich eine Vacuole, welche den äusseren kegelförmigen Theil des betreffenden Zapfens abhebt. Dieser Theil fällt dann völlig ab und es bleibt der grösste innere Theil des Zapfens als ein nunmehr cylindrisches Gebilde mit unregelmässigem oder selbst ausgefranstem äusseren Ende zurück (Taf. Fig. 5 d, e).

In den hinteren Partien der Retina waren diese eigenthümlichen Zapfen so zahlreich, dass sich kaum ein Schnitt fand, wo nicht selbst mehrere sichtbar gewesen wären. Auch in den Maculaschnitten desselben Auges waren sie zu constatieren, doch nicht in den centralen Partien der Fovea. Schnitte aus der Gegend des Aequators zeigten diese Zapfen aber nur äusserst spärlich. Eine besondere Regel in ihrer Vertheilung konnte ich nicht wahrnehmen. Auch an zwei anderen frischen Netzhäuten waren an den durch die Macula gehenden Schnitten in den peripheren Theilen der Macula einzelne Zapfen zu sehen, deren Kerne vor der Limitans lagen. Ob sie ebenfalls die oben beschriebene

eigenthümliche Gestalt aufwiesen, kann ich nicht sagen, da die Zapfen- und Stäbchenaussenglieder überhaupt an diesen Stellen nicht wohl erhalten waren.

Zapfen mit vor der Limitans liegenden Kernen hat Stöhr (35) beschrieben, doch waren diese Zapfen nicht anders gebildet wie die übrigen Zapfen. Stöhr konnte nicht entscheiden, ob es sich hier um einen zweiten Kern handelte oder ob nur der eine Kern peripherwärts gerückt ist. Das letztere scheint ihm wahrscheinlicher. Borysikiewicz (31) findet ferner die äusseren Körner sehr häufig vor der Limitans, u. zw. nicht nur in den Zapfen, sondern sogar in den Stäbchen. Die Kerne sind oft so gelagert, dass sie die äussere Grenze mit $^1/_4$, der Hälfte oder $^3/_4$ des Körpers überschreiten, ja Borysikiewicz hat das äussere Korn auch am Ende des Stäbchens gefunden. Diese „exponierten Körner," wie sie Borysikiewicz nennt, waren in der Gegend der Ora serrata nur sehr spärlich, das Korn aber immer in der Mitte des Stäbchens. Gegen die Maculagegend zu werden sie häufiger, die Körner rücken aber der Limitans näher. „In der peripheren und ziemlich breiten Zone des gelben Fleckes ist aber fast in jedem Schlauche je ein an der Grenzmembran sitzendes Korn bemerkbar" und in einer geringen Entfernung vom Rande der Centralgrube, sowie in der letzteren sind die äusseren Körner nur unter der Limitans externa, resp. nach innen von derselben nachweisbar. In einem Auge konnte Borysikiewicz diese exponierten Körner auch am Rande der Centralgrube wahrnehmen. Endlich hat Solger (36) Schnitte aus der Gegend der Macula beschrieben, bei welchen ebenfalls die Kerne der Zapfen weiter peripher gerückt waren und sich theils ausserhalb der Limitans externa befanden, theils von ihr in verschiedener Höhe geschnitten wurden. Solger weist darauf hin, dass mit der von Genderen Stort beschriebenen Verkürzung der Zapfen auf Lichteinwirkung vielleicht auch eine Lageveränderung des Kernes verbunden sein könnte, hält aber diese nicht für die Ursache der abnormen Lagerung der Zapfenkörner in seinen Präparaten, da sich keine Beziehung zwischen der Länge des Innengliedes und der Lage des Kernes auffinden liess. Er meint daher, dass es sich hier um eine besondere Eigenthümlichkeit der Zapfen handelt, welche sich vielleicht aus der Entwicklung der Zapfen erklärt. Die Innenglieder entstehen durch Auswachsen höckerartiger Fortsätze von den Zapfensehzellen über das Niveau der Limitans externa. Dabei könnte es nun in einzelnen Zapfen zu dieser Lage-

veränderung kommen, während in der Mehrzahl derselben der Kern unter der Limitans bleibt.

Zunächst ist hervorzuheben, dass zwischen meinen Beobachtungen und denen der anderen Autoren in der Richtung ein wesentlicher Unterschied besteht, dass die von mir gefundenen Zapfen mit an der Limitans gelegenen Kernen nicht gewöhnliche Zapfen waren, sondern in ihrer Gestalt wesentlich von diesen abwichen. Ferner sassen in meinen Präparaten die Kerne immer vollständig ausserhalb der Limitans und wurden von derselben nicht geschnitten. Kerne in den Stäbchen selbst, also ebenfalls vor der Limitans, wie dies Borysikiewicz angibt, konnte ich ebensowenig wie andere sehen. Denn für Stäbchen, in die etwa der Kern hineingelangt wäre, kann ich das, was ich gesehen habe, nicht halten, da ich von sehr vielen dieser Gebilde eine deutliche Zapfenfaser ausgehen sah, die sich mit einem typischen Zapfenfaserkegel an die äussere reticuläre Schichte ansetzte.

Um die Angaben von Borysikiewicz besser beurtheilen zu können, müssen wir aber auf seine Ansichten über die Stäbchenzapfenschicht etwas näher eingehen. Er beschreibt das Aussehen der Stäbchen derart, dass wenn das Stäbchen infolge der Härtung schmäler wird, das „ganze Gebilde die Form eines Zapfens annimmt, dessen dickerer, bauchiger Abschnitt entweder an die äussere Grenzmembran stösst oder mehr oder weniger in der Mitte zur Ansicht gelangt, ja selbst das Bild einer umgestürzten Flasche bietet". Nach Borysikiewicz ist, wie erwähnt, die Müller'sche Faser, welche in die Stäbchen und Zapfen sich fortsetzen soll, aus 3 übereinanderliegenden Bestandtheilen zusammengesetzt. Der innere Theil hat seinen Kern in der Höhe des inneren Randes der Ganglienzellenschicht, der mittlere knapp über der äusseren granulierten Schicht; die 3. Abtheilung der Müller'schen Fasern wird dargestellt durch die Stäbchen und Zapfen. In der Nähe des oberen Endes des sogenannten Innengliedes soll hier wieder ein Kern mit einem Kernkörperchen liegen. Nun liegen aber die äusseren Körner nach der Angabe von Borysikiewicz ebenfalls in den Müller'schen Schläuchen, ja Borysikiewicz fand in einem „Schlauche" zwei Körner innerhalb der äusseren Körnerschicht. Dies wäre also zum mindesten ein vierter, ja sogar ein fünfter Kern innerhalb der Müller'schen Faser, was der von Borysikiewicz selbst gemachten Aufstellung, dass die Müller'sche Faser aus „3 übereinanderliegenden und an ihren Enden miteinander verschmolzenen Abtheilungen sich zusammensetzt", widerspricht.

Borysikiewicz beschreibt übrigens das Stäbchen als einen Schlauch von 60 μ Länge und 6 bis 7 μ Dicke. Die Längsstreifung des Innengliedes, die sich in ihrer Continuität bis auf die sogenannten Stäbchen und Zapfenfasern verfolgen lässt, kann sich auch auf die Aussenglieder fortsetzen und von demselben „isolieren" und stäbchenförmige Gebilde darstellen. Borysikiewicz sagt: „Von vielen Autoren ist die Dicke des Stäbchenschlauches sehr gering angeschlagen worden. Diese Dimensionen dürften mit der grössten Wahrscheinlichkeit sich auf die erwähnten isolierten, in der That stabförmig aussehenden Längsstreifen beziehen." Das was aber Borysikiewicz in Fig. 35 als jene Form des Stäbchenschlauches abbildet, „welche den Verhältnissen in vivo am nächsten stehen dürfte," sind ganz schlecht erhaltene Elemente der Stäbchenzapfenschicht. Wir können uns diesen Schluss sehr wohl erlauben, da die Zeichnungen nach der eigenen Angabe Borysikiewiczs „möglichst naturgetreu" ausgeführt worden sind. Nach solchen Präparaten kann man sich überhaupt kein Urtheil über die wirkliche Gestalt dieser Elemente erlauben und doch werden wir auf Seite 42 durch die Bemerkung überrascht: „Was hier von den Stäbchen bemerkt wurde, hat seine Giltigkeit auch für den Zapfen, indem ich beide Gebilde sowohl im anatomischen, als im physiologischen Sinne für vollkommen gleichwertig halte", ein Ausspruch, der alles über den Haufen werfen würde, was ein H. Müller, M. Schultze, Henle und so viele andere in mühsamer, jahrelanger Forschung aufgebaut haben. Es kann auch keinem Zweifel unterliegen, dass das, was in Fig. 49 der Arbeit von Borysikiewicz abgebildet ist, mit ihren Innengliedern verklebte Elemente der Stäbchenzapfenschichte sind.

Ueber die wirkliche Bedeutung dieser eigenthümlichen Zapfen könnte man wohl nur Vermuthungen aussprechen. Dass es sich nicht um eine etwa durch Lichtwirkung hervorgerufene Erscheinung handeln kann, das liegt nach dem vereinzelten Vorkommen auf der Hand. Man muss wohl annehmen, dass diese Zapfen besonderer Art durch einen abnormen Entwicklungsvorgang diese Gestalt angenommen haben und dass auch darin die Ursache für die ungewöhnliche Lage des Kerns zu suchen ist. An eine besondere functionell von den übrigen verschiedene Zapfenart zu denken, wäre wohl etwas gewagt, wenn auch diese Gebilde viel häufiger vorkommen mögen, als man bisher angenommen hat.

Schlussbetrachtungen.

Zunächst einige Worte über unsere Darstellung der Fovea Tafel, Fig. 1 und 2. Beide Bilder sind vollkommen naturgetreu nach den Präparaten wiedergegeben und nur in der Foveola die Retina in ihre natürliche Lage zurückgelegt. In Fig. 1, die nach einem in Salpetersäure fixierten Präparate gezeichnet ist, sind die einzelnen Netzhautelemente wohl viel besser in ihrer Lagerung zu einander erhalten als in Fig. 2 (Härtung in Flemming'scher Lösung). Hier sind in den inneren Partien der inneren Körnerschicht die einzelnen Zellen offenbar etwas auseinander gezerrt, auch die Zapfenfasern haben (wie oben erwähnt) nicht mehr ganz ihre normale Verlaufsrichtung. Es ist also auch wohl die ganze Retina hier um ein geringes dicker, die Fovea etwas kleiner als es in vivo der Fall gewesen sein mag.

Werfen wir nun einen Rückblick auf das Verhalten der einzelnen Netzhautschichten in der Fovea, so muss zunächst die Zunahme der gangliösen Schichten am Rande der Fovea und noch auf eine grössere Ausdehnung hinaus als ganz constant hervorgehoben werden. Ich sage gangliösen Schichten, indem ich hier den für diese Schichten von Dogiel vorgeschlagenen Namen anwende, welcher die Ganglienzellenschicht als innere gangliöse Schicht, die Schicht der Spongioblasten als mittlere gangliöse Schichte und die Schichte der bipolaren Körner als äussere gangliöse Schichte bezeichnet. Dagegen zeigen die reticulären Schichten keine Zunahme. In der Mitte der Fovea verschwinden ganz constant die beiden reticulären Schichten, manchmal auch die gangliösen Schichten, während diese in anderen Fällen, u. zw. wie es scheint viel häufiger in dünner Lage auch in der Mitte der Fovea persistieren.

Schaper (11) hat ganz Recht, wenn er sagt, dass das Fehlen der beiden gangliösen Schichten sich offenbar nur in solchen Fällen findet, wo „die Fovea ein ausserordentlich flaches Relief zeigte, so dass der Boden derselben auf eine längere Strecke eben verlief." Er fährt dann fort: „Da ein solches Verhalten der Fovea aber kaum als das Normale angesehen werden kann (ich habe es eigentlich nur an schlecht fixierten Präparaten gesehen), so ist wohl auch das Fehlen dieser Schichten am Fundus foveae nicht als Regel aufzustellen." Nun haben die im vorstehenden niedergelegten Untersuchungen ge-

zeigt, dass das Fehlen der gangliösen Schichten weniger häufig vorkommt als deren blosse Verdünnung, dass die gangliösen Schichten aber wirklich am Grunde der Fovea fehlen können, steht ausser allen Zweifel, denn die Netzhäute, an denen ich es nachweisen konnte, stammten von Augen, welche während des Lebens enucleiert und gleich nach der Enucleation in die Härtungsflüssigkeit gelangt waren, in welcher sie in ganz vorzüglicher Weise fixiert worden waren. Die Untersuchung des Macularreflexes in den Augen jugendlicher Individuen zeigt uns ferner, dass die Fovea häufig um vieles grösser ist als die Papille und es scheint die Annahme daher nicht ungerechtfertigt, dass so flach gebaute Foveae, in welchen dann oft auch die beiden gangliösen Schichten vollständig fehlen dürften, nicht zu den grossen Seltenheiten gehören müssen.

Schaper kommt dann weiter zu dem Schlusse, dass die Schilderung Henles, wonach die beiden gangliösen Schichten im Centrum der Fovea mit der Körnerschichte zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* Mächtigkeit zusammenfliessen, auch heute noch zu recht bestehe. Ich muss hier darauf hinweisen, dass es sich dabei um einen Irrthum — vielleicht nur um einen Druckfehler bei Henle handeln muss, der nun auch von Schaper neuerdings wiederholt wird. Nachdem Henle (10) ausdrücklich erwähnt hat, dass die Dicke der Retina in der Tiefe der Grube „nicht viel über und manchmal unter 0·1 *mm* beträgt, gibt er an, dass die beiden gangliösen Schichten im Centrum der Fovea unter sich und mit der (äusseren) Körnerschichte zu einer Körnerlage von 0·08 *mm* zusammenfliessen. Eine von beiden Zahlen muss entschieden unrichtig sein, denn wenn beide richtig wären, so würden für die Länge der Zapfen in der Mitte der Fovea bloss 20 μ oder selbst noch weniger übrig bleiben. Auch in dem durch die Mitte der Fovea gehenden Schnitt, den Schaper abgebildet hat, kann jene Körnerlage unmöglich jene Mächtigkeit erreicht haben, da die darunter befindlichen Zapfen, deren Länge mit 50 μ angegeben wird, in der Figur fast ebenso lang gezeichnet sind als die Dicke der in der Mitte mit der äusseren Körnerschichte vereinigten gangliösen Schichten beträgt.

Dass die äussere Körnerschicht sich stets am Grunde der Fovea von den Resten der gangliösen Schichten unterscheiden lässt, wurde bereits oben erwähnt. Die zusammengeflossenen gangliösen Schichten messen in meinen Präparaten 15—30 μ und der ganze vor

der Limitans externa liegende Theil der Retina misst am Grunde der Fovea nicht mehr als 60—80 μ.

Am Grunde der Fovea verdünnt sich also die Körnerschicht oder schwindet selbst bis auf eine letzte Andeutung. In Fig. 1 und 2 ist mit G die Gehirnschicht und mit E die Neuroepithelschicht bezeichnet. Es geht aus diesen Figuren hervor, dass die letztere in der Fovea ein verschiedenes Verhalten zeigen kann. Sie ist entweder in der unmittelbaren Umgebung der Foveola am dicksten oder die dickste Stelle entspricht ungefähr jener Stelle, an welcher die ganze Retina am dicksten ist. Es hängt das mit dem flacheren oder steileren Bau der Fovea und dem dadurch bedingten Verhalten der äusseren Faserschichte zusammen. Ist die Fovea sehr gross, erreichen infolge dessen die Zapfenfasern die entsprechenden Elemente der Gehirnschichte viel später, so müssen in den centralen Partien relativ mehr Fasern über einander liegen als dann, wenn dieselben viel kürzer sind.

Die Verdünnung der äusseren Körnerschicht im Bereiche der peripheren Theile der Fovea hängt offenbar damit zusammen, dass hier die Stäbchen immer mehr an Zahl abnehmen, wie dies bereits H. Müller hervorgehoben hat. Die Zapfenkörner aber lagern sich in mehreren Reihen übereinander, da sie eben nicht alle mehr in einer Reihe knapp an der Limitans externa Platz finden. Da nun ganz in der Mitte der Fovea die Zapfenkörner sehr spärlich sind, nur 2—3 davon übereinander liegen, so müssen sie sich in der Umgebung dieser Stelle wieder mehr anhäufen und dem entsprechend zeigt sich eine Verdickung der äusseren Körnerschicht rings um die centralste Partie, die allerdings infolge der mehr lockeren Lagerung der Zapfenkörner bedeutender erscheint, als sie wirklich ist.

Wie die Untersuchungen von Chievitz (32, 38) gezeigt haben, kommt bei vielen Thieren eine als Area centralis gebaute Stelle vor, ohne dass eine Fovea vorhanden wäre. Das Charakteristische dieser Area besteht eben in der Verdickung der Ganglienzellenschicht und der inneren Körnerschicht, während in der Stäbchenzapfenschicht die einzelnen Elemente schmäler werden und gewisse Sehzellen in grösserer Zahl auftreten. Die äussere Körnerschicht verhält sich hiernach verschieden, je nachdem die Stäbchenzapfenschicht grösstentheils Elemente enthält, deren Durchmesser bedeutend geringer oder nahezu ebenso gross ist als der Durchmesser der über der Limitans externa liegenden Zapfen- oder Stäbchenkörner. Beim Menschen, wo die sehr schmalen

Stäbchen gegen die Mitte der Fovea zu an Zahl abnehmen, wird auch die äussere Körnerschicht. im Bereiche der Fovea (abgesehen von jener kleinen Stelle) dünner, während sie bei gewissen Thieren (Rana esculenta, Lacerta viridis, Vögel) im Bereiche der Area centralis sich verdickt, weil hier die ohnehin schon sehr breiten Elemente der Stäbchenzapfenschicht sich in der Area centralis verschmälern.

Die Stäbchenzapfen können nach Chievitz in der Area verlängert sein oder sie sind wie bei der Krähe und beim Sperling verkürzt oder endlich sie sind in ihrer Länge unverändert. Ich muss nach meinen Untersuchungen die menschliche Area centralis der letztgenannten Gruppe zurechnen.

Beim Menschen nun gesellt sich, so wie bei vielen Thieren zu der Area centralis eine Vertiefung — Fovea — hinzu, deren Umgebung dann eben als Area centralis gebaut ist. Dieses Verhalten ist, wie Chievitz angibt, dort, wo bei einer Thiergattung überhaupt eine Fovea zur Beobachtung kommt, ganz regelmässig zu constatieren. Auch beim Menschen findet sich während einer gewissen Zeit des foetalen Lebens eine Area centralis, aber noch keine Fovea. Diese bildet sich erst nach dem 6. Monat (Chievitz 37), u. zw. von der vitrealen Seite der Retina gegen die chorioideale zu. Auch die Zapfenfaserschichte zeigt sich erst dann, wenn eine Fovea vorhanden ist.

Von diesen Gesichtspunkten aus ist es nicht denkbar, dass die Verdickung der gangliösen Schichten am Rande der Fovea fehlt, wohl aber sind sehr vielfache individuelle Verschiedenheiten im Bau der Fovea, in deren Grösse und dem Verhalten der Schichten in derselben möglich und kommen in der That vor, wie dies bereits H. Müller vermuthet hatte. Foveae von geringem Durchmesser, in welchen die Gehirnschichte der Retina noch in ziemlicher Dicke erhalten ist, stellen im Gegensatze zu grösseren, in welchen die Gehirnschicht am Grunde der Fovea fehlt, gleichsam frühere Entwicklungsstufen der Fovea dar, auf welchen die Fovea stehen geblieben ist.

Ich kann mich aber nicht auf den Standpunkt Schapers (11) stellen, dass die individuellen Verschiedenheiten im Bau der Fovea in histologischer und physiologischer Beziehung von recht geringer Bedeutung sind. Wir werden im physiologischen Theile der Arbeit sehen, dass gar manche Erscheinungen sich nur durch Berücksichtigung jener Verschiedenheiten erklären lassen. Aber auch in histologischer

Beziehung sind dieselben nicht gleichgiltig. Bei dem Baue der Fovea centralis kann es sich nicht allein darum handeln, wie Schaper meint, den in das Auge eintretenden Lichtstrahlen an einer Stelle der Netzhaut einen möglichst ungehinderten Durchtritt zu den percipierenden Elementen derselben, also zu den Sehepithelien, frei zu geben, um hiermit einen Ort des scharfen Sehens zu gewinnen. Das Wesentliche ist vielmehr die ganz andere und viel intimere Verbindung der Sehepithelien mit dem Centralorgan, wie sie durch den Bau der Fovea ermöglicht wird und es muss von Interesse sein, diejenigen Verhältnisse, welche sich trotz der individuellen Verschiedenheiten constant vorfinden, festzustellen, wie dies bereits oben geschehen ist.

Was die Verbindung der Stäbchen und Zapfen mit den Sehnervenfasern betrifft, so haben die neueren Untersuchungen von Dogiel, Ramon y Cajal im Gegensatze zu den früheren von Merkel, Gunn und Kuhnt keine directe Verbindung zwischen den äusseren Fortsätzen der inneren Körner und den Zapfen- und Stäbchenfüssen erwiesen. Dogiels körnige Klümpchen sollen dem unteren etwas ausgehöhlten Ende des Stäbchen- oder Zapfenfusses bloss anliegen und Ramon y Cajal sagt direct, dass von der basalen Fläche des Zapfenfusses einige frei endigende Fäserchen horizontal abgehen. Dieser Autor weist ferner die Behauptung anderer Autoren, dass das Ende der Stäbchenfaser sich in der äusseren reticulären Schicht fortsetzt, zurück und lässt die Stäbchenfaser an der äusseren plexiformen (reticulären) Schicht mit einer kleinen kegelförmigen Anschwellung endigen. Eine directe Verbindung zwischen den Elementen der Sehzellenschicht und den inneren Körnern existiert nach Ramon y Cajal überhaupt nicht. Die Leitung wird bloss durch den Contact zwischen den Federbüschen der äusseren Fortsätze der bipolaren Zellen und den Füssen der Stäbchen und Zapfenfasern bewirkt. Dabei sind immer mehrere Stäbchen mit einer bipolaren Zelle in dieser Contactverbindung, während andere bipolare Zellen zu den Zapfen gehören, aber immer nur von einem Zapfen die Reize weiter leiten. In der Fovea centralis aber ist dann die Leitung eine präcisere, indem hier jeder Zapfen nur zu einem „einzigen Federbusche der betreffenden bipolaren Zelle in Contact tritt, welche wieder nur mit einer einzigen Ganglienzelle in Verbindung zu sein scheint".

Es wäre also von Wichtigkeit, das Verhältnis der äusseren zur inneren Körnerschicht festzustellen. Schon H. Müller war die be-

deutende Dicke der inneren Körnerschicht in der Gegend der Macula aufgefallen. Er bemerkt, dass es evident sei, dass die Zahl der inneren Körner in einer gewissen Ausdehnung jene der äusseren erreicht, so dass man annehmen kann, dass sich je ein äusseres mit einem inneren Korn verbindet, fügt aber hinzu: „Dagegen weiss ich nicht, wie man sich das Verhältnis da vorstellen soll, wo, wie es wenigstens den Anschein hat, die inneren Körner die äusseren an Zahl noch übertreffen“.

Chievitz (32) hat Zählungen der einzelnen Elemente in den verschiedenen Netzhautschichten der Gegend der Area centralis und in anderen Netzhautpartien, bei Menschen und bei verschiedenen Thieren vorgenommen. Er hat von der Foveaachse an eine 1 *mm* lange Strecke durchgezählt. Er fand die äusseren Körner und die Ganglienzellen an Zahl gleich, während die Zahl der inneren Körner doppelt so gross ist, als die Zahl der äusseren Körner, so dass also hier zwei innere Körner auf eine Sehzelle kommen würden. In der übrigen Retina sind die äusseren Körner zahlreicher als die inneren Körner und als die Ganglienzellen.

Nun lassen sich aber gegen diese Zählungen manche Bedenken erheben. Wie oben erwähnt wurde, verlaufen die Zapfenfasern in den mittleren Theilen der Fovea der Oberfläche der Retina fast parallel, erst später richten sie sich mehr auf und verlaufen schräg zu derselben, um endlich in einer Entfernung von etwa 2 *mm* von der Mitte der Fovea in die radiäre Richtung überzugehen. Erst 2 *mm* von der Mitte der Fovea finden sich also die zu je einer Sehzelle gehörigen inneren Körner oder genauer gesagt bipolaren Zellen auf einem Durchschnitte der Retina senkrecht über der betreffenden Sehzelle. In der Fovea selbst ist dies aber durchaus nicht der Fall. Hier werden infolge des eigenthümlichen Verlaufes der Zapfenfasern Elemente der Sehzellenschicht, welche näher dem Centrum liegen, mit Elementen der Gehirnschichte verbunden, die bedeutend weiter vom Centrum der Fovea abstehen. Zählt man also in einem vollständig in situ gebliebenen Netzhautpräparate die Elemente, beginnend von der Mitte der Fovea bis zu einem Punkte, der 1 *mm* von dem Centrum der Fovea entfernt ist, so kann man die für die Elemente der Sehzellenschicht und der Gehirnschicht gefundenen Zahlen überhaupt nicht miteinander vergleichen, da man die zu der gefundenen Menge der äusseren Körner gehörigen inneren Körner und Ganglienzellen als in dem durch-

gezählten Stücke der Netzhaut gar nicht vorfindlich, überhaupt nicht mitgezählt hat.

Darnach sollte man allerdings in einem 1 *mm* langen Stücke der Netzhaut weniger Ganglienzellen und innere Körner finden, als der gefundenen Zahl von äusseren Körnern entspricht. Man könnte also aus dem Umstande, dass Chievitz in einer 1 *mm* langen Netzhautpartie 2 innere Körner und eine Ganglienzelle auf ein äusseres Korn fand, den Schluss ziehen, dass in der Gegend der Macula noch mehr innere Körner und noch mehr Ganglienzellen mit einer Sehzelle verbunden sind. Wir wissen aber nicht, ob die Fovea in dem Präparate von Chievitz in der normalen Grösse zu sehen war. Wenn sie bedeutend kleiner war, was, wie wir oben gesehen haben, hauptsächlich durch die Veränderungen in der äusseren Faserschichte und durch die Verschiebung der Gehirnschichte gegen die Sehzellenschichte in der Richtung gegen die Mitte der Fovea erfolgt, so kann der Fehler, welcher dadurch begangen wurde, dass ein nur 1 *mm* langes Stück der Netzhaut durchgezählt wurde, ausgeglichen oder auch übercompensirt worden sein.

Es kommt aber noch ein anderer Umstand bei diesen Zählungen in Betracht. Die innere Körnerschicht enthält ihrer Natur nach sehr verschiedene Elemente, neben den bipolaren Zellen, die bei der Zählung einzig in Betracht kommen sollten, auch noch die sogenannten Spongioblasten, die grossen und kleinen sternförmigen Zellen und die Kerne der Müller'schen Radialfasern. Nun haben wir aber gesehen, dass z. B. die Spongioblasten in der Umgebung der Fovea und am Rande derselben offenbar vermehrt sind und es geht daher nicht an, die Körnerschicht als Ganzes zu betrachten und, wie Chievitz es gethan, sämmtliche Elemente derselben zu zählen und dann mit der Zahl der äusseren Körner zu vergleichen. Aber auch die Elemente der äusseren Körnerschicht sind nicht alle gleichwertig. Dogiel hat die subepithelialen Zellen beschrieben, welche in dem inneren Theile der äusseren Körnerschicht zunächst der äusseren reticulären Schicht zwischen den Füssen der Sehzellen liegen und ihrer Natur nach als durch ihre eigenthümliche Lage modificierte bipolare Zellen des Ganglion retinae anzusehen sind. Alle diese Elemente kann man aber hauptsächlich, wie Dogiel u. A. hervorgehoben haben, durch die Art und Richtung ihrer Verästelung, die aber wiederum erst durch bestimmte Färbungsmethoden und Präparationen ermittelt werden kann, unterscheiden. Ich bekam, soweit

ich nach meinen Präparaten urtheilen kann, den Eindruck, dass die bipolaren Zellen in der inneren Körnerschicht im Gebiete der Verdickung der Retina am Rand der Fovea überhaupt nicht stärker vermehrt sind, als dies durch die Verdünnung oder das Fehlen dieser Schichte in der Fovea bedingt ist.

Selbst, wenn man aber diese Unterscheidung zwischen den einzelnen Elementen der Körnerschichten gemacht hätte, erwüchse noch eine Schwierigkeit daraus, dass man die Zählungen eben wegen der Art der Anordnung der Fasern in der äusseren Faserschichte nur in einem grösseren Netzhautbezirke, im Ausmaasse von etwa 2 *mm* in meridionaler Richtung von der Mitte der Fovea an gerechnet, machen könnte, denn es dürfte wohl schwerlich gelingen, eine Zapfenfaser derart durch die äussere Faserschicht zu verfolgen, dass man sagen könnte: Zu diesem Zapfen gehört bestimmt dieser Zapfenfaserkegel in der äusseren reticulären Schicht und bis zu diesem Zapfenfaserkegel muss ich die bipolaren Zellen zählen, wenn ich die äusseren Körner bis zu dem Zapfenkorn, welches jenem Zapfen entspricht, gezählt habe. Zählt man aber die einzelnen Elemente in der Ausdehnung von 2 *mm* von der Mitte der Fovea an, so bekommt man gar keinen Begriff von dem Verhalten der Verbindungen zwischen äusseren und inneren Körnern in der Mitte der Fovea, denn man zählt eben auch Elemente, welche den peripheren Theilen der Fovea und selbst deren weiterer Umgebung angehören, in denen bereits sich zahlreiche Stäbchen unter die Zapfen mischen. In geringer Entfernung von der Macula ist ja bereits nach M. Schultze die Anordnung der Stäbchen und Zapfen ganz dieselbe wie in der übrigen Retina.

Aus den vorliegenden Gründen muss ich derartige Zählungen, wie sie Chievitz vorgenommen hat, für nicht beweiskräftig für den Zusammenhang der Sehzellen mit den inneren Schichten halten und habe dieselben daher an meinen Präparaten nicht vorgenommen. Ich überlasse dieselben jenen, welche mit speciellen, die Unterscheidung der Dignität der einzelnen Netzhautelemente ermöglichenden Methoden an die Untersuchung der Retina herantreten und selbst diesen werden hierbei nach dem, was ich soeben anzudeuten mir erlaubt habe, bei der Ermittlung dieser Verhältnisse erhebliche Schwierigkeiten erwachsen.

Bezüglich des Stützgewebes der Retina in der Gegend der Macula sei hier auf die schöne Arbeit von Dogiel (15) verwiesen, welcher uns im Gegensatze zu älteren Angaben gezeigt hat, dass die Müller'schen Fasern in der Gegend der Macula durchaus nicht gering entwickelt sind. Nur spalten sich dieselben an dem inneren Ende oft in 2 bis 3 Fasern, welche Spaltung in verschiedener Entfernung von der Limitans interna (Margo limitans) erfolgt. Auch ich konnte dieses Verhalten an meinen Präparaten sehen. Natürlich sind dann diese einzelnen sich zum Margo limitans zusammenschliessenden Fasern viel zarter als die breiten conischen Anschwellungen der Müller'schen Fasern, besonders in der Umgebung der Papille. Ueberhaupt macht das Stützgewebe der Retina in der Gegend der Macula den Eindruck einer stärkeren Verzweigung, entsprechend der Verdickung einzelner Schichten am Rande der Fovea und der Vermehrung der Elemente in denselben.

C. Die Retinalgefässe der Gegend der Macula lutea.

Bekanntlich wird angegeben, dass die Macula lutea Netzhautgefässe enthält während die Fovea centralis selbst gefässlos ist. Der gefässlose Bezirk soll etwa 0·5 *mm* im Durchmesser haben. Da die Gefässverhältnisse in der Netzhautmitte vielfach nicht auf anatomischem, sondern auf entoptischem Wege untersucht wurden, so will ich mich hier auf diese kurze Bemerkung beschränken und eine genauere Besprechung der diesbezüglichen Literatur erst später im physiologischen Theile dieser Schrift folgen lassen.

Aus dem, was im vorstehenden auseinandergesetzt wurde, geht hervor, dass wir, auch wenn wir den Durchmesser des gefässlosen Theiles der Retina mit 0·5 *mm* annehmen, nicht sagen können: die Fovea centralis enthält keine Netzhautgefässe. Da durch meine Untersuchungen festgestellt wurde, dass die Fovea fast immer grösser, sehr selten nur etwas kleiner ist als die Papille, so muss die Retina auch im Bereiche des grössten Theiles der Fovea centralis noch Gefässe enthalten, wie dies auch an meinen Abbildungen (Tafel, Fig. 1 und 2) ersichtlich ist. Sie fehlen nur in einem mittleren Theile der Fovea centralis, dessen Durchmesser etwa $^1/_3$ der Fovea beträgt, wenn wir den verticalen Durchmesser der Fovea dieser Vergleichung

zugrunde legen oder oft noch weniger, wenn wir die Fovea in horizontaler Richtung messen.

Die Netzhautgefässe verbreiten sich in der ganzen Netzhaut nur in der Gehirnschicht und lassen das Neuroepithel frei. So verhält es sich auch bei allen Thieren, welche überhaupt Gefässe in ihrer Netzhaut besitzen. Die einzige Ausnahme, den Aal betreffend, bei welchem Netzhautgefässe auch noch in der äusseren Körnerschicht gefunden wurden (Denissenko), ist strittig.

Auch in meinen Präparaten fanden sich die Gefässe nur in der Gehirnschicht, die äussere Faserschichte und die nach aussen davon liegenden Schichten waren vollständig frei von Gefässen, wie dies stets und auch noch zuletzt von Barrett (39) angegeben wurde.

Es ist klar, dass schon daraus folgt, dass die gefässlose Stelle je nach dem Baue der Fovea, eine verschiedene Grösse haben muss. In jenen Augen, wo die Gehirnschicht an der tiefsten Stelle der Fovea vollständig fehlt oder vielmehr nur durch einen zarten Streifen von reticuliert aussehender Substanz mit einzelnen eingelagerten Körnern angedeutet erscheint, wo gleichzeitig ein wirklicher, ziemlich grosser Fundus foveae existiert (Tafel, Fig. 1), wird die gefässlose Stelle auch einen grösseren Durchmesser haben. Da, wo aber die Gehirnschicht auch am Grunde der Fovea noch vorhanden ist, werden die Gefässe dem Centrum der Fovea näher rücken können und wahrscheinlich desto mehr, je dicker jene Lage der Gehirnschicht am Grunde der Fovea ist.

Es versteht sich, dass zu Messungen der Entfernung der Gefässe von der Mitte der Fovea auch nur jene Netzhäute benützt werden konnten, wo die Fovea in ihrer natürlichen Gestalt erhalten, die Retina nicht gefaltet oder in ihrer Schichtung verändert war. Ich muss deshalb allen Messungen dieser Art, wie sie bisher an Netzhautschnitten von verschiedenen Autoren (Denissenko, Wadsworth, Schaper etc.) ausgeführt wurden, jeden Wert absprechen.

Die Entfernung der ersten Gefässe von der Mitte der Fovea betrug in jenen meiner Präparate, welche zu diesen Messungen verwendet werden konnten, 0·18—0·4 *mm*, was sich, da durchwegs Horizontalschnitte angelegt worden waren, auf den horizontalen Durchmesser bezieht. Die grösste Zahl fand sich in der That für jene Fälle, wo die Gehirnschicht am Grunde der Fovea fehlte (Fall 1).

II.

Die Farbe der Macula lutea.

Bezüglich der Grösse des gelben Fleckes werden stets die Angaben H. Müllers (9) citirt. Derselbe erwähnt zunächst, dass um die intensiver gefärbte Stelle „sich ein schwächerer gelblicher Hof findet, der sich bedeutend weiter erstreckt und ganz allmählich verliert". H. Müller maass in einem Auge die intensiv gelb gefärbte Stelle zu 0·88 *mm* im horizontalen und 0·53 *mm* im verticalen Durchmesser, die schwache Färbung war in einer Länge von 2·1 *mm* und in einer Höhe von 0·88 *mm* zu sehen. In einem anderen Auge war die Ausdehnung der intensiven Färbung in horizontaler Richtung 1·5 *mm*, in verticaler 0·8 *mm*. Die schwächer gelbe Farbe war in einem noch grösseren Umkreis vorhanden. H. Müller macht auch darauf aufmerksam, dass in der Grösse des gelben Fleckes bedeutende individuelle Schwankungen vorkommen und dass die gelbe Färbung auch schon wegen ihrer diffusen Begrenzung ein schlechtes Merkmal für eine genauere Bestimmung der Localität der Retina in der Achsengegend des Auges ist.

Sehr verschieden wird das Verhalten der centralsten Stelle des gelben Fleckes beschrieben. Michaelis (8) gibt sehr schön ausgeführte Abbildungen von Flächenansichten des gelben Fleckes, in denen eine centrale kleine farblose Stelle zu sehen ist. In einer anderen Figur derselben Arbeit aber, die eine „ideelle Vorstellung von der Lage der Theile in der Gegend der Macula lutea" geben soll, zieht auch über den Grund der Fovea eine gelbgefärbte Schichte hinüber. Kölliker (40) erwähnt nichts von einer centralen ungefärbten Stelle. Nach H. Müller

(9) ist die Retina in der Fovea centralis farblos. M. Schultze (41) gibt dagegen ausdrücklich an, dass die Fovea centralis ebenfalls wie die Macula lutea intensiv gelb gefärbt ist. Schmidt-Rimpler (42) sah an der aus dem frischen Auge ausgeschnittenen Retina die Fovea als dunkelbraunen querovalen Fleck in der Mitte der Macula lutea. Kühne (43) fand die Fovea centralis in der von der Chorioidea abgehobenen Retina als farblose Delle in der intensiv gelben Umgebung. Doch erwähnt er von einem Falle, dass sich die gelbe Farbe bis fast in das Centrum der Fovea erstreckte.

Bezüglich der Elemente, welche die gelbe Farbe enthalten, hat Kölliker (40) eine gleichmässige helle gelbe Infiltration der Theile gefunden, „so zwar, dass alle vortrefflich erhaltenen Retinalelemente (Ganglienzellen, Stäbchen, Körner, Fasern) gefärbt erscheinen.“ Auch Henle (44) sah die Farbe des gelben Fleckes „diffus und nicht an ein bestimmtes Gebilde gebunden“. Wie Dittrich, Gerlach und Herz (45), die ebenso wie Kölliker und Henle ihre Beobachtungen an den Augen Hingerichteter anstellten, meinen, schien „gerade die Kernformation der Theil der Retina zu sein, von welchem der gelbe Fleck hauptsächlich ausgeht, indem es gerade die Körner waren, welche unter dem Mikroskope an der dem gelben Flecke entsprechenden Stelle der Retina intensiv gelb gefärbt erschienen“. M. Schultze (41) sagt, dass das Pigment eine „homogene, zwischen den Fasern und Zellen der Retina auftretende citronen- bis blassorangegelbe Masse ist. Die Farbe dieser Massen ist bei der Betrachtung mit starker 3—400facher Vergrösserung noch sehr intensiv, wenn man dafür sorgt, dass die nach dem Tode sich trübenden Zellen, Fasern und anderen Elemente der Retina möglichst beseitigt werden, wie dies durch Abspülen der Retina in Serum und weiter durch leichtes Zerzupfen der Macula lutea gelingt.“

Dieser gelbe Farbstoff ist nach M. Schultze in den inneren Schichten enthalten, fehlt dagegen in den Zapfen. Schwalbe (13) gibt an, dass die Färbung eine diffuse ist, „alle Schichten der Netzhaut mit Ausnahme der Zapfenschicht und der Lage der äusseren Körner sind durch einen diffus zwischen die Formelemente der Netzhaut abgelagerten gelben Farbstoff tingiert“. An anderer Stelle (6) drückt sich Schwalbe folgendermaassen darüber aus: „Der gelben Färbung liegt ein diffuser gelber Farbstoff zugrunde, der sämmtliche vor den Sehzellen gelegenen Netzhautschichten der Macula gleich-

mässig durchtränkt." Während man also nach der ersteren Darstellung Schwalbes annehmen könnte, dass der gelbe Farbstoff auch in der äusseren Faserschichte enthalten sei, würde nach der zuletzt citierten Angabe diese letztere Schichte des gelben Farbstoffes ermangeln, da sie zur Neuroepithelschicht zu zählen ist.

Es muss hier zunächst hervorgehoben werden, dass, wenn man in der Mitte der Macula lutea einen kleinen farblosen Fleck wahrnimmt, man nach den im vorstehenden enthaltenen anatomischen Untersuchungen nicht sagen kann, dass die Fovea farblos ist. Dies haben natürlich alle früheren Beobachter gethan, da sie die Grösse der Fovea mit 0·2—0·4 *mm* annahmen, den von ihnen gesehenen farblosen Fleck in der Mitte der Macula lutea also für die Fovea hielten. Da wir jetzt wissen, dass die Fovea viel grösser ist, so kann es sich hier nur um den Grund der Fovea, in welchem die Netzhaut am dünnsten ist, handeln.

Ich habe nun eine Anzahl von frischen Netzhäuten, welche theils $^3/_4$ Stunden bis 2 Stunden nach dem Tode der Leiche entnommen wurden, theils von Augen stammten, welche während des Lebens enucleiert worden waren, auf diese Verhältnisse untersucht. In sämmtlichen dieser Augen war die Retina in der Gegend der Macula lutea glatt der Chorioidea anliegend, eine Plica centralis hatte sich noch nicht gebildet. Messungen der Grösse des gelben Fleckes habe ich nicht vorgenommen, doch kann ich angeben, dass die hier vorkommenden individuellen Verschiedenheiten auch nach dem, was ich beobachtet habe, sehr bedeutende sind.

Ein Theil der Netzhäute wurde in der Weise untersucht, dass eine kleine viereckige, die Macula enthaltende Stelle ausgeschnitten, auf einen Objectträger gebracht und in Glaskörperflüssigkeit mit der Loupe und unter dem Mikroskope, im durchfallenden Lichte und auf weisser Unterlage im auffallenden Lichte angesehen wurde. Ich konnte dabei constatieren, dass, wie es M. Schultze angibt, die dünnste Stelle der Retina ebenfalls die gelbe Farbe enthält. Diese Stelle erscheint als ein schwächer gelbgefärbter heller Fleck, dessen Durchmesser sehr verschieden ist, aber wohl immer unter 0·5 *mm* bleibt. Dieser Fleck wird dann von einem recht intensiv gelbgefärbten Ringe umschlossen, welcher sich sehr allmählich in die Umgebung verliert. Nicht immer ist in der centralen, heller gelbgefärbten Stelle

die Färbung bei Anwendung stärkerer Vergrösserung ganz gleichmässig. Oft sieht man stärker gelbgefärbte Streifen diese Partien durchziehen.

Die schwachgefärbte kleine, runde, centrale Partie in der Macula entspricht offenbar dem Grunde der Fovea, der dünnsten Stelle der Retina. Es ist das dieselbe Stelle, welche im durchfallenden Lichte am durchsichtigsten erscheint, wenn wir eine frische Netzhaut auf einen Objectträger legen und gegen das Licht halten. Ist die Retina in situ, so sieht man im Centrum der Fovea einen dunklen kleinen Punkt, indem hier das Pigmentepithel und die Chorioidea am deutlichsten durchscheint.

Derselbe dunkle Fleck in der Mitte der Fovea ist endlich auch bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sichtbar. Ich habe ihn (7) nicht nur dadurch erklärt, dass die Netzhaut hier dünner ist, sondern zog auch den Umstand zur Erklärung heran, dass hier der diffuse Lichtreflex seitens der äusseren Faserschichte fehlt, während in der Umgebung dieser Partie die äussere Faserschicht gerade am dicksten ist und sich dann gegen die Mitte der Fovea zu sehr rasch verdünnt.

Ich habe diese Begründung hauptsächlich mit Rücksicht auf jenen Fall gegeben, bei welchem die Gehirnschicht am Grunde der Fovea ganz fehlte. Bei dem in diesem Falle sehr kleinen Winkel, unter welchem der Clivus gegen die Mitte der Fovea zu abfällt und bei dem hier vorhandenen Fundus foveae, ist es, wie ich l. c. auseinandergesetzt habe, nicht anzunehmen, „dass die dünnste Stelle der Retina als ein wenn auch nicht scharf begrenzter, aber doch in seiner Grösse deutlich bestimmbarer dunkler Fleck erscheint. Unter den vorliegenden Umständen könnte wohl die dünnste Stelle der Retina am dunkelsten aussehen, von da an müsste sich aber die dunkle Farbe so gradatim verlieren, dass es unmöglich wäre, die dunkle Stelle einigermaassen genau zu begrenzen.“ In jenen Augen aber, wo kein eigentlicher Fundus foveae vorhanden ist und wo der Clivus gleich in die Fovea übergeht (Fig. 2) scheint allerdings die Erklärung des mit dem Augenspiegel sichtbaren dunklen Fleckes bereits in der Verdünnung der Retina an der tiefsten Stelle der Fovea zu liegen. Auch bei der Entstehung des dunklen Fleckes, in der Gegend der Macula, wie er bei Embolie der Centralarterie und bei Ablatio retinae in der Gegend der Macula auftritt, werden die angegebenen Momente in Betracht kommen.

Eine Bestimmung der Vertheilung der gelben Farbe in Schnittpräparaten begegnet deshalb bedeutenden Schwierigkeiten, weil der gelbe Farbstoff der Macula lutea bekanntlich in Alkohol löslich ist und man daher die gewöhnlichen Härtungsmethoden nicht anwenden kann. Versuche, die Retina der Maculagegend ohne vorhergehende Fixierung zwischen zwei Plättchen von Hollundermark mittels des Gefriermikrotomes zu schneiden, missglückten. Die Retina zerfiel sehr rasch beim Auflegen der Schnitte in kleine Bruchstücke und riss zum mindesten am Grunde der Fovea stets ein, so dass man kein vollständiges Bild erhalten konnte. Da ich nun bemerkt hatte, dass die gelbe Farbe der Macula sich in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung sehr wohl erhielt und bis zum Einlegen der Netzhaut in Alkohol in der Salpetersäurelösung keine Veränderung eingieng, so wurden die Augen, unmittelbar nach dem sie enucleiert worden waren, in $3^1/_2$% Salpetersäurelösung gebracht. Es geschah dies entweder nach Abtragung des vorderen Abschnittes oder auch so, dass das ganze Auge eingelegt wurde, nachdem vorher in der Gegend des Aequators ein etwa 6—10 *mm* langer Einschnitt mit dem Rasiermesser durch die Sklera gemacht worden war, wobei Sorge getragen wurde, dass kein Glaskörper abfloss. Nach ein- bis mehrstündigem Verweilen der Augen in der Salpetersäurelösung wurde ein viereckiges Stück der Netzhaut sammt dem gelben Fleck herausgeschnitten, mit grösster Vorsicht zwischen zwei Stückchen Hollundermark gelegt, welche mit einer dicken Gummilösung befeuchtet waren und so auf die Platte des Gefriermikrotomes gebracht. Dann wurden mittels eines Pinsels noch einige Tropfen jener Gummilösung auf das ganze gebracht und der Aetherspray in Bewegung gesetzt.

Beim Schneiden entstand wiederum die Schwierigkeit, dass die Schnitte, wenn sie vom Messer auf den Objectträger gebracht wurden, sehr rasch aufthauten und dann zerrissen. Ich gebrauchte daher später den Kunstgriff, nach jedem Schnitte auf den gefrorenen Block wieder neuerdings mit dem Pinsel eine dünne Schicht der Gummilösung aufzutragen und diese Schicht vor dem Schneiden zum Frieren zu bringen. Die Schnitte im ganzen wurden dadurch ziemlich dick, leichter zu behandeln, konnten, ohne dass sie inzwischen aufthauten, mittels einer Präpariernadel an ihrem Rande aufgespiesst und auf den Objectträger übertragen werden und enthielten doch keine allzudicken Schnitte der Retina selbst. Auf dem Objectträger war bereits ein viereckiges Rähmchen aus Seidenpapier zur Stütze des Deckglases

vorbereitet, in dessen Mitte einige Tropfen einer concentrirten Lösung von Kali aceticum gebracht worden waren. In diese wurden die Schnitte eingelegt und dann das ganze mit dem Deckglase bedeckt.

Schon bei diesen Manipulationen musste es auffallen, dass die gelbe Farbe der Macula nur an der inneren Fläche des Netzhautstückchens zu sehen war, während die Aussenfläche, sowie auch die Innenfläche der Retina ausserhalb der Macula durch die Einwirkung der Salpetersäure weiss erschien. An den dünneren der mit dem Gefriermikrotome angefertigten Schnitte zeigte sich die gelbe Farbe in der Gehirnschicht, u. zw. auch in den Resten derselben am Grunde der Fovea, ja sie war an den Schnitten oft hier am intensivsten. Sie durchsetzte sämmtliche Elemente dieser Schichten in ganz diffuser Weise und verlor sich an den meisten Schnitten bereits vor dem Rande der Fovea ganz allmählich. An den dickeren Schnitten konnte man aber mit voller Sicherheit wahrnehmen, dass sich die gelbe Färbung auch in die äussere Faserschichte, jedoch in etwas geringerer Intensität erstreckte und nur die Schichte der äusseren Körner frei liess.

Man kann also nicht sagen, dass die Sehzellenschicht der gelben Färbung entbehrt. An diesen Präparaten konnte man die gelbe Färbung noch durch mehrere Tage hindurch sehen. Doch blasste sie im Verlaufe dieser Zeit allmählich ab, blieb aber immer am Grunde der Fovea noch am längsten wahrnehmbar.

Es ist zu bemerken, dass auch an diesen Schnitten der Durchmesser der Fovea stets mindestens jenem der Papille gleichkam, ja ihn oft wesentlich übertraf.

Wie es sich in einem Auge, in welchem die inneren Schichten der Netzhaut am Grunde der Fovea fehlen, mit der gelben Farbe verhalten würde, kann ich nach eigener Beobachtung nicht angeben, doch ist es wohl wahrscheinlich, dass auch hier die zarte Gewebs; schicht, welche als Fortsetzung oder letzte Andeutung der Gehirnschicht noch am Grunde der Fovea vorhanden ist und welche einzelne Körner eingestreut enthält, gelb gefärbt ist. Jedenfalls würde die Zapfenfaserschicht, welche sich hier in ganz besonderer Dicke noch sehr nahe der Mitte der Fovea vorfindet, die gelbe Farbe enthalten.

Ob die Zapfenfasern auch da, wo sie in der Mitte der Fovea nach aussen von den Zapfenkörnern in fast senkrechter Richtung ver-

laufen, gelb gefärbt sind, das konnte ich bei der grossen Schwierigkeit der Untersuchungsmethode nicht mit Sicherheit feststellen.

Ich kann aber auch noch einen anderen Beweis für das Vorhandensein der gelben Farbe auch auf dem Grunde der Fovea anführen. Ich habe zwei Fälle von Embolie der Centralarterie beobachtet, in welchen die gelbe Farbe der Macula direct sichtbar war. Bei dem einen Falle war der dunkelrothe Fleck, wie man ihn sonst bei der Embolie in der Mitte der Fovea sehen kann, nicht zu sehen, dafür zeigte sich diese Stelle in einer sehr schönen gelben Farbe, welche bei gewöhnlichem Gaslicht wenig auffiel, bei der Untersuchung mit einem Auer'schen Brenner oder bei Tageslicht aber sehr deutlich hervortrat. Die gelbe Farbe verlor sich sehr allmählich gegen die Umgebung. In dem anderen Falle von Embolie war der dunkle Fleck in der Fovea zwar zu sehen, doch hatte er deutlich eine gelblich-braune Farbe, die ohne Zweifel ebenfalls von der gelben Farbe der Macula herrührte. Der dunkle Fleck in der Mitte der Fovea war in dem ersten Falle wohl nur deshalb nicht zu sehen, weil die Gehirnschicht in diesem Auge am Grunde der Fovea noch ganz besonders dick war, so dass ihre Trübung an dieser Stelle hinreichte, um die Netzhauttrübung in der Maculagegend gleichmässig, von keinem dunklen Fleck unterbrochen erscheinen zu lassen. Vor diesem hellen Grunde konnte man dann sehr deutlich die gelbe Farbe der Macula wahrnehmen. Auch in dem zweiten Falle mag die Gehirnschicht am Grunde der Fovea dicker als gewöhnlich gewesen sein.

Man muss sich aber fragen, warum man nicht fast in jedem Falle von Embolie die gelbe Farbe der Macula wahrnimmt, da sie sich doch entschieden weiter erstreckt als der dunkle Fleck, der nur dem Grunde der Fovea entspricht. Wir sollten also diesen letzteren von einem gelblichen Ringe umgeben sehen. Es wäre nun denkbar, dass die gelbe Farbe durch den pathologischen Process in der Retina gewöhnlich vernichtet wird und dass dies in unseren Fällen nur aus irgend einem besonderen Grunde nicht der Fall war. Andererseits wäre es auch möglich, dass man die gelbe Farbe häufiger wahrnehmen würde, wenn man in solchen Fällen immer mit einem möglichst weissen Lichte (Auer'sches Gasglühlicht, Tageslicht) untersuchen würde.

Meine Untersuchungen haben also ergeben, dass die Fovea auch in ihrem Grunde, entsprechend der Foveola gelb gefärbt ist. Die gelbe Farbe ist nur hier sehr schwach, weil die dieselbe enthaltenden Netz-

hautschichten nur sehr dünn sind. In der Umgebung des Grundes der Fovea, wo dann diese Schichten schon dicker werden, ist auch die gelbe Farbe sehr deutlich wahrnehmbar, nimmt aber trotz der zunehmenden Dicke der Gehirnschicht schon gegen den Rand der Fovea hin wieder ab, wie sich sehr leicht aus der Vergleichung der wirklichen Grösse der Fovea mit den von H. Müller gegebenen Maassen des gelben Fleckes ergibt. Ja es ist sehr wohl möglich, dass, wenn die Macula in einem Auge ziemlich klein ist, die gelbe Farbe schon vor dem Rande der Fovea vollständig aufhört, denn ich habe Netzhäute gefunden, in denen sich die Macula, auch wenn man den schwachgefärbten Randtheil dazu rechnet, kaum über 1 *mm* erstreckte.

Man hat bisher stets gesagt, dass die Fovea im Centrum der Macula liege und infolge dessen auch den Ausdruck Limbus luteus foveae gebraucht. Dies entspricht nicht den Thatsachen, indem es möglich ist, dass die Fovea grösser ist als die Macula. Wir werden uns also folgendermaassen über die Beziehungen zwischen Fovea und Macula ausdrücken müssen: Die gelbe Färbung der Retina, welche wir als Macula lutea bezeichnen, findet sich an der dünnsten Stelle, am Grunde der Fovea und in dessen Umgebung und erstreckt sich allmählich abnehmend bis gegen den Rand der Fovea oder noch etwas über denselben hinaus. Dem Grunde der Fovea entsprechend, erscheint uns die gelbe Farbe bei Betrachtung der Retina von der Fläche schwächer, nicht deswegen, weil hier die Färbung geringer ist, sondern weil hier die die gelbe Farbe am intensivsten zeigende Gehirnschicht sehr dünn ist.

Das Vorhandensein der gelben Farbe auch im Grunde der Fovea entspricht nun in der That auch den physiologischen Thatsachen. Die Untersuchungen von M. Schultze (41), Preyer (46), Hering (47, 49) und Sachs (48) haben gezeigt, dass die gelbe Farbe der Macula alle homogenen Lichter vom Gelbgrün bis zum Violett absorbirt, und zwar desto stärker je kleiner die Wellenlänge ist. Hering fand an den zu diesen Untersuchungen verwendeten Netzhäuten, dass die gelbe Farbe von der Peripherie gegen die Mitte der Macula sichtlich zunimmt und „in der Leichennetzhaut dicht am Foramen centrale am stärksten ist.

Er sagt weiter: „Ueber die Pigmentierung der Fovea centralis konnte ich keinen Aufschluss gewinnen, denn aus den von mir untersuchten, obwohl zum Theil noch frischen Leichenaugen, erhielt ich die Netzhäute nur mit einem Foramen centrale.“ Es ist hier mit dem Namen Fovea centralis das bezeichnet, was wir jetzt richtig „Grund der Fovea“ nennen müssen. Hering fährt dann fort: „Ich selbst vermochte auch mit sehr empfindlichen entoptischen Methoden die Pigmentlosigkeit meiner eigenen Fovea nicht nachzuweisen; vielmehr stimmten die Beobachtungen zu M. Schultzes Angabe. Jedenfalls ist die Macula wenigstens in der unmittelbaren Nähe der Fovea am stärksten pigmentiert und es nimmt von hier die Färbung allmählich in radiärer Richtung ab, um sich schliesslich ohne scharfe Grenze zu verlieren.“

Auch wenn wir mit M. Schultze daran denken, dass die gelbe Farbe der Macula die chemisch stärker wirkenden kurzwelligen Strahlen von den lichtempfindenden Elementen abhalten soll, würde es dieser Vorstellung nicht entsprechen, wenn die centralste Stelle der Fovea nicht gelb gefärbt wäre.*)

---

*) Boll (50) hat die Ansicht ausgesprochen, dass man den physiologischen Nutzen des in den vorderen Schichten der Retina befindlichen gelben Farbstoffes der Macula lutea „in der Beschirmung des Sehrothes gegen die blauen und violetten Strahlen suchen könnte.“ Diese Ansicht ist nicht haltbar, da im Bereiche der Macula die Stäbchen fehlen, also auch kein Sehroth vorhanden ist.

II. THEIL.

Die entoptischen Erscheinungen in der Gegend der Macula

1. *Die gefässlose Stelle der Retina.*

Im Gegensatze zu den früheren Angaben behauptete D. P. Johannides (51) die Gefässlosigkeit der Netzhaut im Bereiche des gelben Fleckes. Das von Gerlach injicierte Präparat, auf das sich Johannides bei dieser Angabe stützte, zeigte allerdings eine gefässlose Stelle, deren Durchmesser in horizontaler Richtung 1·02 *mm*, in verticaler 0·92 *mm* betrug. Leber (52) bemerkte in einer der Arbeit von Johannides auf dem Fusse folgenden Entgegnung, dass man schon durch die ophthalmoskopische Untersuchung feststellen könne, dass Netzhautgefässe sich innerhalb der Macula lutea vorfinden. Er verwies ferner auf die anatomischen Untersuchungen, besonders von Niemetschek und Nettleship, welche ebenfalls die theilweise Gefässhältigkeit der Macula lutea ergaben. Endlich zeigt auch die entoptische Beobachtung der Retinalgefässe, dass, wie Leber sagt, „die Macula lutea gefässhaltig ist und nur die Fovea centralis der Gefässe völlig entbehrt." Auf diesem letzteren Wege fand Leber den horizontalen Durchmesser der gefässlosen Stelle seines eigenen rechten Auges auf 430 *mm* vom Knotenpunkte des Auges projiciert, gleich 12 *mm*, woraus sich ein wirklicher Durchmesser von 0·42 *mm* berechnen lässt. Die hiervon so stark abweichenden Maasse des Gerlach-schen Präparates können nach Leber vielleicht ganz durch Faltung der Netzhaut und dadurch bewirkte Verziehung der Capillarschlingen, vielleicht — wenigstens theilweise — durch den Umstand erklärt werden, dass das Präparat von einem 4jährigen Kinde stammt, indem es möglich wäre, dass in den ersten Lebensjahren die Verhältnisse von denen beim Erwachsenen verschieden sind.

Durch die beiden soeben erwähnten Abhandlungen über diesen Gegenstand wurde O. Becker (53) veranlasst, die Abbildung eines vorzüglich gelungenen Injectionspräparates der Retina, das von H. Müller angefertigt worden war, und in dessen Sammlung von Becker

gefunden wurde, zu veröffentlichen. In diesem Präparate hatte die gefässlose Stelle die Form eines liegenden Rechteckes mit eingebogenen Seiten, von denen die längeren 0·41, die kürzeren 0·31 *mm* maassen. Auch Becker zieht aber ausserdem noch die entoptische Beobachtung heran. Er führt an, dass bereits Michaelis im Jahre 1838 auf diese Weise die Gestalt und Grösse der gefässlosen Stelle beschrieben und gezeichnet hat, und beschreibt hierauf näher, auf welche Weise er die Capillaren seiner Netzhaut am besten zur Anschauung bringt. Die gefässlose Stelle hat im rechten Auge Beckers die Form eines fast regelmässigen Fünfeckes mit einem Durchmesser von 0·75 *mm*, im linken Auge die eines senkrecht stehenden schmalen Parallelogrammes, dessen senkrechte Diagonale 0·47 *mm*, dessen horizontale Diagonale 0·31 *mm* beträgt. Becker liess diese Untersuchungen von einigen anderen Personen wiederholen und es fanden sich dabei zwar sehr verschiedene Formen der gefässlosen Stelle, aber vollkommen übereinstimmende Maasse.

Denissenko (54) fand an anatomischen Präparaten in der Fovea noch so weit Gefässe als die Molecular- und innere Körnerschicht vorhanden sind. Gerlach jun. (55) zeigte an einem Injectionspräparate, dass nur die Fovea gefässlos ist, und Wadsworth (4) sah an einem anatomischen Präparate der Maculagegend noch 0·376 *mm* vom Centrum der Fovea Capillaren.

Auch v. Reuss (56) und Parent (57) bestritten aufgrund ophthalmoskopischer Beobachtungen die Gefässlosigkeit der ganzen Macula.

Endlich hat Mayershausen (58) nochmals mittels der entoptischen Beobachtung die Grösse der gefässlosen Stelle in seinem linken Auge bestimmt und fand dieselbe in der Form eines unregelmässigen Dreieckes, dessen horizontaler durch den Fixationspunkt gehender Durchmesser nach der Rechnung 0·399 *mm*, der verticale durch den Fixationspunkt gehende Durchmesser aber 0·45 *mm* beträgt.

Im Wesentlichen mit den vorhergehenden übereinstimmenden Angaben machen auch Wolffberg (59) und Nuel (60).

In der neuesten Zeit endlich hat Schaper (11) in einer sehr gut conservierten Retina Capillargefässe noch in einer Entfernung von 0·151 *mm* vom Centr um der Fovea angetroffen. Schaper bemerkt, dass der Durchmesser der gefässlosen Stelle ein sehr wechselnder sein muss und abhängig von der Menge der im Centrum der Fovea nach vorhandenen Ganglienzellen. Doch kann eben, wie wir oben

(Seite 60) bereits erwähnt haben, seiner Messung ebensowenig wie jenen aller anderen Autoren ein Wert beigelegt werden, da eben alle nicht gut conservierte Netzhäute untersucht haben.

Es ist mir nun schon seit langem aufgefallen, dass sich die Gefässvertheilung in meiner Netzhaut, wie ich sie mir durch die Methode der entoptischen Beobachtung zur Anschauung bringe, ganz anders verhält, als dies von allen übrigen Beobachtern angegeben wird.

Ich will zunächst vorausschicken, dass meine Augen nach Correction eines leichten Astigmatismus eine übernormale Sehschärfe haben. (Rechtes Auge: S $^5/_5$?; mit 0·5 D concav. cyl. Axe 20° T—S $^5/_4$; Linkes Auge: S $^5/_5$?; mit 0·5 D concav. cyl. Axe 30° T—S $^5/_4$. Der Astigmatismus ist, wie sich durch die Untersuchung mit Javals Ophthalmometer ergibt, ein cornealer.)

Blickt man gegen eine helle Fläche, eine weisse Wolke, ein weisses gut beleuchtetes Papier oder gegen eine Lampenglocke aus Milchglas, und bewegt ein feines Diaphragma in leicht kreisenden oder zitternden Bewegungen vor dem Auge, so kann man bekanntlich die feinsten Capillargefässe der Retina mit voller Deutlichkeit wahrnehmen. Wenn ich diesen Versuch anstelle, so kann ich *constatieren, dass eine eigentliche grössere gefässlose Stelle der Retina weder in meinem rechten, noch in meinem linken Auge existiert.* Die Maschen der Capillargefässe sind in der unmittelbaren Umgebung des Fixationspunktes nur etwas grösser als in grösserer Entfernung von demselben. Während am rechten Auge die Zahl dieser grösseren Capillarmaschen, in deren einer der Fixationspunkt liegt, eine ziemlich grosse ist, so dass die spärliche Vertheilung in der Umgebung des Fixationspunktes ziemlich deutlich in die Augen fällt, ist dies am linken Auge nur wenig ausgesprochen.

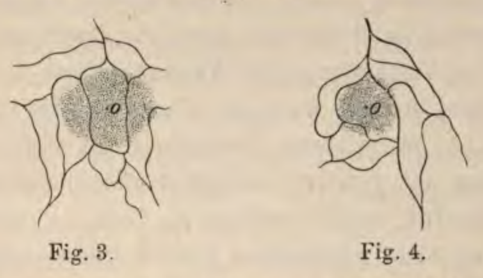


Fig. 3. Fig. 4.

Ich habe versucht in Fig. 3 die centralsten Schlingen des rechten Auges, in Fig. 4 jene des linken Auges darzustellen. Bei o liegt

der Fixationspunkt. Ich habe die weiter peripher gelegenen Gefässmaschen nicht mehr gezeichnet, da es mir trotz sehr vielfacher, angestrengter Versuche nicht möglich war, dieselben mit einer über allen Zweifel erhabenen Genauigkeit zu Papier zu bringen. Im linken Auge sehe ich links vom Fixationspunkt einen minimalen ganz scharf begrenzten dunklen Punkt, der sich mit den Gefässchatten zu verschieben scheint.

Auf eine Entfernung von 558 *mm* vom Knotenpunkte des Auges projiciert (Fig. 3 und 4) misst die den Fixationspunkt umgebende Gefässschlinge am rechten Auge in horizontaler (durch den Fixationspunkt gehender) Richtung 4·9 *mm*, in verticaler Richtung 10·7, am linken Auge bei der Projection auf dieselbe Entfernung in verticaler Richtung 7·4 *mm*, in horizontaler Richtung 7·7. Es ergibt dies folgende Dimensionen der Capillarschlingen in der Retina: am rechten Auge in horizontaler Richtung 0·13 *mm*, in verticaler 0·28 *mm*; am linken Auge in horizontaler Richtung 0·2 *mm*, in verticaler 0·19 *mm*. Es beträgt somit die geringste Entfernung der Capillargefässe von der Mitte der Fovea in meinen beiden Augen bloss 0·065 *mm*, die grösste 0·14 *mm*.

Vergleichen wir diese Maasse mit der von Becker (53) gegebenen Abbildung des H. Müller'schen Injectionspräparates, so können wir auch die in meinem rechten Auge den Fixationspunkt umgebende Masche des Capillargefässnetzes nicht als sehr gross bezeichnen. Nach der in 50facher Vergrösserung des Präparates dargestellten Fig. 2 der Becker'schen Arbeit finden sich in der Umgebung der gefässlosen Stelle jenes Auges auch Gefässchlingen, deren längerer Durchmesser bis 0·24 *mm* beträgt. In einiger Entfernung von der gefässlosen Stelle sind dagegen die Maschen des Capillargefässnetzes durchwegs enger, ganz so wie ich das in meinen Augen ebenfalls wahrnehmen kann.

Es ist gewiss keine gewagte Annahme, wenn ich es mit der soeben dargelegten Vertheilung der Netzhautgefässe in meinen Augen in Zusammenhang bringe, dass ich die von Vierordt, Purkinje, Helmholtz u. A. beschriebene Erscheinung der Blutbewegung in den Netzhautgefässen mit grosser Leichtigkeit wahrzunehmen imstande bin.

Es erscheint somit erwiesen, dass es normale Augen gibt, in denen eine gefässlose Stelle am Grunde der Fovea nicht existiert und die Capillarschlingen daselbst nur einen etwas grösseren Durchmesser haben.

2. Der runde Schatten in der Gegend des Fixationspunktes.

Helmholtz (61) gibt an, dass, wenn man die Aderfigur mittels einer engen Oeffnung in einem dunklen Schirme hervorbringt, in der gefässlosen Stelle ein runder Schatten sich bei den Bewegungen des Diaphragmas herumbewegt. Wolffberg (59) erwähnt, dass er in der Beobachtung der Zapfenmosaik, besonders wenn das Licht nicht intensiv genug war, durch einen vor dieselbe gelagerten Schatten gestört wurde.

Ruete (62) dagegen beschreibt bei derselben Methode der entoptischen Untersuchung einen kleinen hellen Fleck, den er excentrisch nach oben in der gefässlosen Stelle sieht und hält denselben für ein Abbild der Krystallinse, eine Erklärung, welcher Meissner (63) nicht zustimmen kann. Er sieht in der Mitte der gefässlosen Stelle oder etwas excentrisch eine ganz kleine helle, an der einen Seite von einem schmalen dunklen Saume umgebene Stelle, die sich wie ein kleines Knöpfchen ausnimmt.

Blicke ich durch eine kleine Oeffnung in einem Stück Carton auf eine helle Fläche, z. B. ein Blatt weisses Papier und bewege diese Oeffnung vor dem Auge hin und her, so sehe ich ausser der Aderfigur einen den Fixationspunkt umgebenden rundlichen Schatten. Derselbe bewegt sich bei den Bewegungen des Diaphragmas so wie der Gefässchatten in derselben Richtung wie das Diaphragma, nur sind seine Excursionen etwas grösser als die der entoptischen Bilder der Netzhautgefässe.

Dieser Schatten, den ich auch in Fig. 3 und 4 in seiner Form und Ausdehnung angedeutetet habe, ist undeutlich begrenzt, am rechten Auge leicht quer oval, am linken Auge nahezu kreisrund. Er misst, so weit er sich bei seiner undeutlichen Begrenzung überhaupt messen lässt, auf 558 *mm* projiciert, am rechten Auge, nach einem aus mehreren Messungen gefundenen Mittelwerte, im horizontalen Durchmesser etwa 12·2 *mm*, im verticalen 9·2 *mm*, woraus seine wirklichen Durchmesser auf der Netzhaut sich auf 0·32 *mm*, resp. 0·24 *mm* berechnen lassen. Am linken Auge erscheint er mir fast ebenso gross wie die centralste, den Fixationspunkt umgebende Gefässchlinge, würde also auf der Netzhaut etwa 0·2 *mm* messen. Es ist zu bemerken, dass dieser Schatten mir nur dann deutlich erscheint, wenn das durch die feine Oeffnung in mein Auge dringende Licht nicht zu intensiv ist.

Verschiebe ich das Diaphragma bei völlig ruhig gehaltenem Auge so weit als möglich nach rechts, so dass der Fixationspunkt knapp neben dem linken Rande des kreisrunden Gesichtsfeldes liegt, so erscheint links von dem Schatten ein ungefähr ebenso grosser, verwaschen begrenzter und ebenso gestalteter heller Fleck. Hält man dann in der Verschiebung des Diaphragmas plötzlich inne, so verschwindet sehr bald der dunkle Schatten und für eine kurze Zeit bleibt nur der helle Fleck sichtbar, bis auch dieser erblasst. Es gewinnt dabei sehr oft den Anschein, als ob man einen hellen, einerseits von einem dunklen Schatten begrenzten Fleck sehen würde, ja manchmal ist der helle Fleck so auffallend, dass er die Aufmerksamkeit des Beobachters allein auf sich zieht, so dass dieser den dunklen daneben liegenden Schatten kaum wahrnimmt.

Macht man mit dem Diaphragma kreisende Bewegungen, so nimmt natürlich der dunkle Schatten dieselbe Bewegung an und der helle Fleck folgt demselben stets, so dass er ebenfalls eine kreisförmige Bahn beschreibt.

Die Erklärung dieses runden Schattens ist nun in der lichtzerstreuenden Wirkung der Foveola gegeben. Hält man eine Concavlinse in einiger Entfernung vor einen hellen Schirm, so dass das Licht einer entferntstehenden Flamme durch die Linse auf den Schirm fallen kann, so nimmt man bekanntlich einen dunklen runden Schatten der Linse wahr, welche von einem hellen Ring umgeben ist. Dieser helle Ring ist desto breiter, je grösser der Abstand der Linse von dem Schirme ist. Er wächst aber bei zunehmender Entfernung der Linse vom Schirme viel rascher als der Schatten der Linse und wird lichtschwächer, während der Schatten der Linse dabei immer dunkler, aber verschwommen begrenzt erscheint. Der helle Ring rührt davon her, dass daselbst der Schirm gleichzeitig von direct von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen und auch von den durch die Concavlinse verstreuten Lichtstrahlen getroffen wird, während im Bereiche des Linsenschattens bloss diese letzteren vorhanden sind. Dieser Schatten erscheint mitunter so intensiv, dass es fast den Eindruck macht, als ob durch die Linse überhaupt kein Licht gehen würde. Doch kann man sich leicht überzeugen, dass dies nicht der Fall ist, wenn man den Schatten eines für Licht undurchlässigen Körpers mit diesem Linsenschatten vergleicht. Der erstere erscheint dann viel dunkler. Bringt man die Concavlinse in einem ihrem Durchmesser

entsprechenden Ausschnitte eines grösseren Pappendeckels an, so sieht man auf dem in geringer Entfernung von der Linse gehaltenen weissen Schirm bloss eine helle, matt erleuchtete Scheibe, eben jenes von der Concavlinse verstreute Licht. Der Durchmesser dieser Scheibe muss bei zunehmendem Abstande der Linse von dem weissen Schirm sehr rasch grösser und lichtschwächer werden, weil sie die Basis eines Strahlenkegels bildet, dessen Spitze im Brennpunkte der Linse liegt. Deshalb muss, wenn die Linse frei vor den hellen Schirm gehalten wird, jener helle Ring auch schnell lichtschwächer und grösser werden, wenn wir die Linse von dem hellen Schirme entfernen und gleichzeitig der Linsenschatten dunkler.*)

Es fragt sich nun, ob die Grösse des Schattens, wie wir ihn auf entoptischem Wege wahrnehmen, mit der Grösse der Foveola übereinstimmt. Zu diesem Behufe müssen wir den Strahlenverlauf zur Foveola, wie er bei der erwähnten Methode zur Hervorbringung der entoptischen Erscheinungen stattfindet, etwas näher ins Auge fassen.

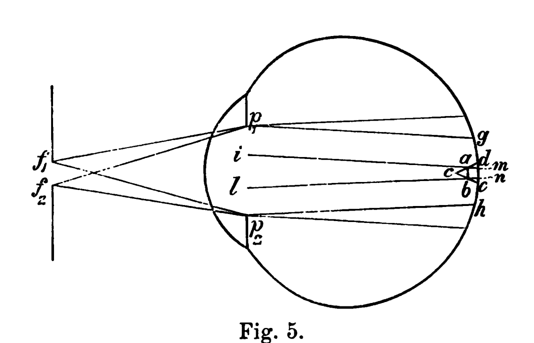


Fig. 5.

In Fig. 5 wäre $f_1 f_2$ eine stenopaeische Lücke, welche sich im vorderen Brennpunkte des Auges befindet. Die von ihr ausgehenden Lichtstrahlen sind natürlich im Glaskörper parallel. Die Retina an ihrer dünnsten Stelle am Grunde der Fovea mit der sie daselbst nach vorne begrenzenden Foveola a b, können wir uns als eine planconcave Linse vorstellen, welche am Grunde des Auges der Chorioidea anliegt. Von der Pupille $p_1 p_2$ fallen Bündel paralleler Strahlen auf a b. Ist nun c der Brennpunkt der concaven Fläche a b,

*) Auf dem Verhältnisse des Durchmessers dieses hellen Ringes zum Durchmesser der Concavlinse beruht bekanntlich auch eine Methode, die Brennweite von Concavlinsen zu bestimmen (siehe Gerolds ophthalm. Physik, I. Seite 290.)

so werden die auf a b auffallenden Strahlen nach der Brechung durch die concave Fläche a b einen Strahlenkegel bilden, dessen Spitze in c, dessen Basis auf der Aussenfläche der Retina, den Durchmesser d e hat. (Es ist dies insoferne nicht ganz genau, als man, um die Basis jenes Strahlenkegels zu finden, welche nach der Brechung durch die concave Fläche a b die äussere Oberfläche der Retina trifft, in Rechnung ziehen muss, dass nicht bloss Strahlen in der Richtung der optischen Achse des Auges auf a b fallen. Die äussersten Strahlen, welche nach a b gelangen, sind einerseits jene, welche in der Richtung von p_1 g verlaufen, andererseits jene, welche p_2 h parallel sind. Durch die Brechung dieser Strahlen entstehen 2 Strahlenkegel, die von 2 verschiedenen vor a b gelegenen Punkten divergieren, wodurch die Basis des gesammten, nach der Brechung durch a b auf die äussere Oberfläche der Retina fallenden Lichtkegels etwas vergrössert wird. Dies ist in der Figur der einfacheren Darstellung wegen vernachlässigt.)

Wollen wir nun wissen, wie gross der durch die concave Fläche a b erzeugte Schatten ist, welcher dem Schatten einer vor einem Schirm gehaltenen Concavlinse entspricht, so müssen wir die Linien i m || p_1 g und l n || p_2 h ziehen. Es ergibt sich daraus, dass das Stück m n an der äusseren Oberfläche der Retina bloss durch das von a b zerstreute Licht beleuchtet wird. m n ist also der „Schatten". Im Bereiche eines Ringes, welcher in der Figur im Durchschnitte durch d m und n e dargestellt ist, wird die äussere Oberfläche sowohl von dem Lichte getroffen, welches direct von der Pupille p_1 p_2 kommt, als auch von jenem Lichte, welches ebenfalls von p_1 p_2 ausgeht, aber durch die concave Fläche a b zerstreut wird. d m — n e ist also der helle Ring, welcher den „Schatten" m n umgibt.

Aus dieser Darstellung geht hervor, dass der durch die concave Fläche erzeugte Schatten etwas kleiner sein muss als die concave Fläche selbst, wie das eben durch die Grösse der Lichtquelle im Verhältnis zur Fläche a b bedingt ist. Bei der geringen Entfernung von etwa 0·1 *mm*, in welcher die Foveola vor der äusseren Oberfläche der Netzhaut liegt, kann der Schatten der Foveola nur um sehr wenig kleiner sein, als die Foveola selbst. Meine anatomischen Untersuchungen haben ergeben, dass der Durchmesser der Foveola in den untersuchten Fällen zwischen 0·12 und 0·3 *mm* schwankt und auch die ophthalmoskopische Beobachtung des Fovealreflexes zeigt, dass der Krümmungsradius und damit auch wohl der Durchmesser der Foveola sehr bedeutende indivi-

duelle Verschiedenheiten aufweist. Die aus den entoptischen Beobachtungen berechnete Grösse des Schattens (in meinem rechten Auge 0·32 *mm* im horizontalen und 0·24 *mm* im verticalen Durchmesser, am linken Auge 0·2 *mm* im Durchmesser) ergibt also mit der Grösse der Foveola eine völlig ausreichende Uebereinstimmung.

Es fragt sich nur noch, warum man entsprechend dm — ne keinen hellen Ring um den dunklen Schatten wahrnimmt. Es dürfte der Grund dafür darin zu suchen sein, dass die Foveola am Grunde der Fovea liegt, welche selbst wieder eine Concavität nach vorne bildet. Nur hat diese Concavität keine annähernd sphärische Krümmung, sondern es senkt sich die Oberfläche der Retina allmählich in Form einer schiefen Ebene, im sogenannten Clivus, zum Grunde der Fovea ein. Immerhin werden die in der Umgebung der Foveola auf die innere Oberfläche der Retina im Bereiche dieses Clivus auffallenden Lichtstrahlen in ähnlicher Weise gebrochen, wie durch eine Concavlinse, also auch zerstreut. In manchen Augen zeigt endlich die Fovea wirklich eine deutlich annähernd sphärische Krümmung (Fig. 1). Diese lichtzerstreuende Wirkung der Fovea, welche sich jener der Foveola unmittelbar anschliesst, macht es verständlich, dass der helle Ring um den Schatten der Foveola fehlt.

Die Excursion des Schattens bei den Verschiebungen des Diaphragmas sind bei mir etwas grösser als die der Aderfigur. Es erklärt sich das daraus, dass die Gefässe ja unter der inneren Oberfläche der Retina liegen müssen.

Der helle Fleck, welcher neben dem Schatten bei seitlicher Verschiebung des Diaphragmas auftritt, ist offenbar nichts anderes als das negative Nachbild des Schattens.

Ich habe den Schatten der Foveola auch an einem Modelle demonstriren können. Dasselbe war aus einer Glaskugel gefertigt, an der vorne eine Blechröhre angesetzt war, in welcher, durch ein Uhrglas nach vorne zu verschlossen, eine zweite Röhre aus- und eingeschoben werden konnte. Das Ganze hatte annähernd die Dimensionen des Auges in 10facher Vergrösserung. An dem hinteren Theile der Glaskugel war in einer Metallfassung eine matte Glasscheibe und dieselbe berührend eine durchsichtige Glasplatte angebracht, welche vorn einen kleinen Abschliff von der ungefähren Grösse und Krümmung der Foveola hatte. Das ganze Modell wurde mit Wasser gefüllt. Brachte man nun in den vor-

deren Brennpunkt dieses Apparates einen Schirm mit einer Oeffnung, auf welche das Licht einer Gasflamme durch eine grosse Linse in entsprechender Weise concentriert wurde, so konnte man, wenn man die Glaskugel von rückwärts betrachtete, auf jener matten Scheibe, die die Glaskugel nach rückwärts abschloss, den Schatten der Foveola und seine Bewegungen sehr deutlich darstellen.

Es ist kein Zweifel, dass der von mir im vorstehenden beschriebene Schatten derselbe ist, den Helmholtz und Wolffberg beobachtet haben. Ob der kleine helle Feck, den Ruete erwähnt, oder die helle, an der einen Seite von einem schmalen dunklen Saume umgebene Stelle, die Meissner gesehen hat, mit dem Schatten der Foveola etwas zu thun hat, lässt sich nicht genau bestimmen, da Angaben über die Grösse oder über etwaige Bewegungen der von jenen Autoren gesehenen Erscheinungen fehlen. Immerhin wäre es aber möglich, dass diese beiden Beobachter das negative Nachbild des Foveolaschattens wahrgenommen haben, weil, wie oben erwähnt, dasselbe manchmal so auffallend ist, dass der Schatten daneben unserer Aufmerksamkeit fast entgehen kann.

Dass nicht alle Personen den Schatten der Foveola sehen, ist in den zahlreichen individuellen Verschiedenheiten, wie sie in dem Relief der inneren Netzhautoberfläche in der Gegend der Macula sich constatieren lassen, begründet, von denen wir oben auf Seite 7 u. ff. bereits gesprochen haben (siehe auch (7), Seite 226 u. ff.). Der daselbst erwähnte Fovealreflex zeigt eine sehr verschiedene Helligkeit und es ist in dieser Beziehung natürlich die Glätte der inneren Netzhautoberfläche, sowie der Unterschied zwischen dem Brechungsindex der Retina und jenem des Glaskörpers zu berücksichtigen. Die geringere Glätte der Netzhautoberfläche bei alten Leuten, dürfte es uns auch hauptsächlich erklären, warum wir die Netzhautreflexe überhaupt und auch den Fovealreflex bei Leuten im vorgerückten Lebensalter nicht mehr wahrnehmen (7, Seite 68). Alle die erwähnten Verhältnisse kommen aber ebensowohl bei der Spiegelung an der inneren Netzhautoberfläche als auch bei der Brechung der Lichtstrahlen beim Uebergange aus dem Glaskörper in die Netzhaut in Betracht.

3. *Der sogenannte Schatten der Netzhautgrube und die helle von ihm umgebene Stelle.*

Burow (64) hat in der Mitte des Gesichtsfeldes, entsprechend dem Fixationspunkte eine helle quer-elliptische Scheibe gesehen und ab-

gebildet. Dieselbe erscheint, wenn man seitlich vom Auge eine Kerzenflamme hin- und herbewegt und wird an dem der Flamme zugewendeten Rande durch einen dunklen halbmondförmigen Schatten eingesäumt. Auch Meissner (63) erwähnt dieselbe Erscheinung, wogegen H. Müller (65) die helle Scheibe gar nicht sehen kann, Helmholtz (61) aber nur den halbmondförmigen Schatten.*) Olshausen (66) beschreibt eine blutrothe Sichel an der Aussenseite des ebenfalls sichelförmigen Schattens.

Die Lage des Schattens zur Richtung des Lichteinfalles hat Burow veranlasst, an Stelle der Fovea eine Vorragung der Netzhaut in den Glaskörper anzunehmen. H. Müller dagegen gab die bereits von Meissner angedeutete Erklärung für die Entstehung der Gefässschattenfigur, dass als Lichtquelle für die entoptischen Erscheinungen bei der erwähnten Methode nicht die vor dem Auge bewegte Flamme, sondern das Bild, das von dieser Flamme durch die brechenden Medien des Auges auf den peripheren Theilen der Netzhaut entworfen wird, anzusehen ist. Auf dieses Flammenbild als gleichsam secundäre Lichtquelle lassen sich auch alle Eigenthümlichkeiten der Bewegungen der Gefässfigur, wie sie bei den Bewegungen der Flamme zur Beobachtung kommen, zurückführen. Doch soll auf diese hier nicht weiter eingegangen werden. H. Müller hält nun den halbmondförmigen Schatten für den Schatten der Netzhautgrube und die helle Scheibe für den Ausdruck der Verdünnung und grösseren Durchsichtigkeit der Netzhaut in der Mitte des gelben Fleckes. Er sagt, dass eben gerade die erwähnte Methode der entoptischen Beobachtung besonders geeignet ist, diesen Schatten zu zeigen, „da bei ihr die Lichtquelle weiter rückwärts und seitlich von der Fovea centralis erzeugt wird als bei den anderen Methoden, wo das Licht die Grube mehr von vorne her beleuchtet“. Die helle Scheibe und der Schatten bewegen sich mit den Gefässschatten und auch Helmholtz, der bloss den Schatten, nicht die helle Scheibe sieht, kann diese Bewegungen an dem Schatten wahrnehmen, indem der Fixationspunkt bei ihm „immer an dem dem Lichte zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe liegt, wenn er den halbmondförmigen Schatten seines Auges

*) In Helmholtz's physiolog. Optik, I. u. II. Aufl., ist die Abbildung Burow's so abgedruckt, dass der in Wirklichkeit quer liegende längere Durchmesser der ovalen Scheibe senkrecht steht.

zur Scheibe ergänzt denkt." Ueber die Grösse der Scheibe gibt Meissner an, dass sie ihm grösser erscheint, als die gefässlose Stelle, welche man bei den Bewegungen einer feinen Oeffnung vor dem Auge bemerkt.

Da die Fovea centralis überhaupt viel grösser, der Winkel, unter welchem die innere Netzhautoberfläche im Bereiche der Fovea zum Grunde derselben abfällt, viel kleiner ist, als man früher angenommen hatte, so fragt es sich, ob die oben angeführte Erklärung der hellen Stelle am Fixationspunkte und des dunklen Schattens an ihrem Rande auch mit den neugewonnenen Thatsachen vereinbar ist. Bei einem Durchmesser der Fovea, der jenem der Papille gleichkommt oder ihn sogar übertrifft, müssen natürlich die Bedingungen zum Auftreten eines Schattens, den der Rand der Fovea auf die äussere, lichtpercipierende Schichte der Retina wirft, ganz andere sein, als wenn der Durchmesser der Fovea kaum $^1/_3$ des Papillendurchmessers betragen würde.

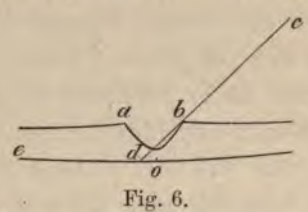


Fig. 6.

Ich habe zunächst in Fig. 6 einen meridionalen Durchschnitt durch das Auge in 20facher Vergrösserung gezeichnet und am hinteren Ende der optischen Achse die Fovea in derselben Vergrösserung dargestellt, u. zw. zunächst unter der Annahme, dass, den alten Angaben folgend, der Durchmesser der Fovea 0·4 *mm* beträgt, die Dicke der Retina am Grunde der Fovea 0·08 *mm*. Als Dicke der Retina am Rande der Fovea aber nahm ich 0·245 *mm* an, jenes Maass, das ich am temporalen Rande der Fovea an einem Schnitte durch die Fovea gefunden hatte (Siehe (7), Seite 168). Ich wählte absichtlich diese Stelle und diesen Fall, wo die Retina am Rande der Fovea dünner gefunden wurde als in anderen Augen, da, wie sich dies aus den folgenden Betrachtungen ergeben wird, der Schatten der Netzhautgrube sich leichter auf die von H. Müller angegebene Art erklären lässt, wenn die Netzhaut am Rande der Fovea nicht so dick, der Abfall der inneren Oberfläche der Retina zum Grunde der Fovea also weniger steil war.

Die Fig. 6 zeigt den Theil des 20fach vergrösserten Augendurchschnittes, welcher die Fovea darstellt. a b ist die Fovea, o die

dem Fixationspunkte entsprechende Stelle an der äusseren Netzhautoberfläche. Wenn nun der Rand der Netzhautgrube einen Schatten auf die lichtpercipierende Schichte der Retina werfen soll, so ist dies nur möglich, wenn das Licht etwa in der Richtung c b d auf die Retina fallen würde. Das Licht würde dabei von einem etwas hinter dem Aequator liegenden Theile der Bulbuswand kommen. Es stellt sich heraus, dass der Schatten der Netzhautgrube über den Fixationspunkt hinüber fallen müsste, während doch Helmholtz, wie oben erwähnt, sagt, dass bei ihm der Fixationspunkt an dem dem Lichte zugewendeten Theile des Randes der hellen Scheibe liegt, wenn man sich eben den halbmondförmigen Schatten zur Scheibe ergänzt denkt.

Auch mit der Erklärung der hellen Scheibe um den Fixationspunkt, als hervorgerufen durch die Verdünnung der Netzhaut daselbst, kann man sich unter diesen Verhältnissen nicht einverstanden erklären. Das Licht, welches so schief auf die Netzhaut trifft, dass es den Schatten der Netzhautgrube erzeugen kann, würde eigentlich nur auf die eine Hälfte der Fovea fallen. Die helle Stelle um den Fixationspunkt kann nach H. Müller nur dadurch entstanden gedacht werden, dass das Licht, welches auf die äussere Oberfläche der Retina, etwa zwischen *d* und *e* gelangt, den dünnsten Theil der Retina zu passiren hätte. Der halbmondförmige Schatten umfasst ja auch nach Burow den Rand der hellen Scheibe. Die Figur zeigt aber, dass nur jenes Licht, welches unmittelbar neben d (links von d) auf die äussere Oberfläche der Retina kommt, durch eine dünne Stelle der Netzhaut geht. Da die Netzhaut neben dem Grunde der Fovea aber wieder sehr rasch an Dicke zunimmt, so wird das Licht, welches durch die Fovea geht und etwas nach links von d zur lichtpercipierenden Schichte der Netzhaut tritt, schon eine bedeutend dickere Partie der Retina zu durchsetzen haben.

Die in der Zeichnung vergrössert wiedergegebenen anatomischen Verhältnisse würden es also nur erklären, dass man unmittelbar neben dem dunklen Schatten der Netzhautgrube eine helle Stelle sieht, welche aber sehr rasch wieder in jene Beleuchtung übergehen müsste, wie sie auch in grösserer Entfernung vom Fixationspunkte durch das die Netzhaut durchdringende Licht erzeugt wird. Niemals könnte man aber die Bildung einer hellen Scheibe verstehen, welche von einem dunklen halbmondförmigen Schatten umsäumt wird, wie dies Burow beschreibt. Auch Olshausen hat bereits darauf aufmerksam

gemacht, dass der halbmondförmige Schatten der Netzhautgrube sich unter diesen Umständen nicht erklären lässt, dass vielmehr die Neigung der Foveawände eine viel geringere sein muss.

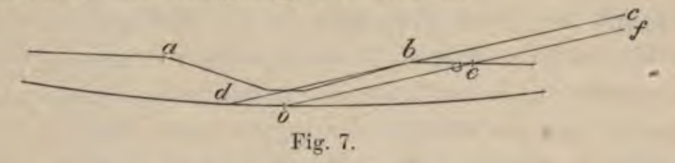


Fig. 7.

In Fig. 7 ist ebenfalls in 20facher Vergrösserung die Fovea dargestellt, wie sie in Wirklichkeit in jenen Fällen beschaffen ist, wo kein eigentlicher Fundus foveae vorhanden ist, sondern wo der Clivus direct in die Foveola übergeht. Es ist der Fall gewählt, wo die Fovea denselben Durchmesser wie die Papille hat. Die Maasse sind folgende: Durchmesser der Fovea a b (in horizontaler Richtung) = 1·5 *mm*, Durchmesser der Foveola = 0·2 *mm*, Dicke der Retina am Rande der Fovea = 0·25 *mm*. Die Neigung des sogenannten Clivus beträgt etwa 16°; o ist die dem Fixationspunkte entsprechende Stelle auf der äusseren Oberfläche der Retina.

Lichtstrahlen, welche in der Richtung cb auf den Rand der Fovea auffallen, könnten allerdings einen Schatten der Netzhautgrube auf der äusseren Oberfläche der Retina erzeugen, derselbe würde aber auch und sogar sehr weit über den Fixationspunkt fallen. Ausserdem würde der Punkt, von dem die Strahlen in diesem Falle herkommen müssten, wie sich aus der übrigen (in der Figur nicht mehr dargestellten) Zeichnung ergibt, nicht wie dies von H. Müller angenommen und gezeichnet wird, auf den seitlichen Theilen der Netzhaut, sondern sehr weit hinten liegen, nur etwa 6·5 *mm* oder 4 Papillendurchmesser von der Mitte der Fovea entfernt. Es erhellt aus der Figur, dass auch hier die Bedingungen zur Wahrnehmung einer hellen Stelle, welche von einem dunklen Schatten umgeben wird, nicht gegeben sind.

Anders verhält sich die Sache dann, wenn die Fovea sehr flach gebaut ist und einen sehr grossen Fundus foveae hat, sowie dies bereits in Fig. 1 dargestellt wurde.

Fig. 8 gibt diesen Fall in einer Umrisszeichnung in 20facher Vergrösserung. Der Durchmesser der Fovea ist 2·0 *mm*, der Durchmesser des Fundus foveae 0·7 *mm*. Hier kann nun in der That das in der Richtung cb auf die Fovea fallende Licht fast den ganzen

Fundus foveae durchdringen. Der Schatten der Netzhautgrube reicht bis zum Fixationspunkte (o) und der Stelle g o entsprechend, wo die Netzhaut dünn ist und wo gleichzeitig die Zapfenfaserschichte in

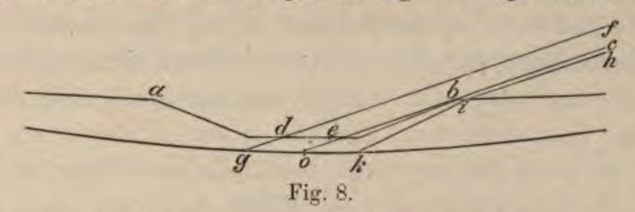


Fig. 8.

dem oben auf Seite 33 angedeuteten Sinne fehlt, wird eine helle Stelle im Gesichtsfelde erscheinen, die eben von dem dunklen halbmondförmigen Schatten eingefasst wird.

Die helle Stelle im Gesichtsfelde würde also etwa dem dunklen in der Mitte der Fovea gelegenen Fleck entsprechen, den wir bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen. Doch ist diese Stelle entoptisch nur dann wahrnehmbar, wenn gleichzeitig die Fovea sehr gross, flach gebaut ist und einen grossen Fundus foveae hat, während der dunkle Fleck in der Mitte der Fovea dem mit den Augenspiegel Beobachtenden auch in anderen Fällen sichtbar ist.

Was die Entstehung des Schattens selbst anbelangt, so wäre nur noch ein Einwand zu erledigen. Man könnte sagen: Die Netzhaut (wir meinen hier nur den dem inneren Blatte der secundären Augenblase entsprechenden Theil der Retina mit Ausschluss des Pigmentepithels) ist ja durchsichtig und kann daher einen Schatten im gewöhnlichen Sinne nicht erzeugen. Nun ist die Netzhaut nicht vollständig durchsichtig, wie dies die Augenspiegeluntersuchung recht deutlich zeigt. Die Farbe des Pigmentepithels und der Chorioidea erscheint nur dort völlig ungetrübt, wo die Retina am Grunde der Fovea am dünnsten und für die Durchleuchtung mit dem Augenspiegel am geeignetsten ist. Dies ist eben der erst vorhin erwähnte dunkle Fleck in der Mitte der Fovea. An allen anderen Stellen lagert die Netzhaut — wenn wir hier wieder die Retina ohne das Pigmentepithel in Betracht ziehen — wie ein leichter Schleier über den pigmentierten Membranen des Augenhintergrundes. Diese leichtgraue Trübung, wie sie sich im Augenspiegelbilde im Bereiche der ganzen Retina kund gibt, ist aber durchaus nicht durch regelmässige Reflexion des Lichtes an der Innen-

fläche der Retina bewirkt. Der Beweis dafür liegt darin, dass wir sie auch noch innerhalb der Fovea wahrnehmen, wo — wie ich gezeigt habe (7) — das an der inneren Oberfläche der Retina regelmässig reflectierte Licht eine solche Richtung nimmt, dass es die Pupille des untersuchten Auges gar nicht verlässt. Es kann sich gerade hier nur um diffus reflectiertes Licht handeln, welches am Grunde der Fovea infolge der oben erwähnten Umstände so wenig intensiv ist, dass wir daselbst die Farbe der unterliegenden Theile unverändert wahrnehmen können. Die Retina kann also am Rande der Fovea ganz gut einen Schatten werfen.

Es kommt aber noch ein zweiter Umstand in Betracht. Der Brechungsindex der Retina ist erheblich von dem des Glaskörpers verschieden, wie die bei jungen Leuten in so grosser Lichtstärke sichtbaren Reflexe an der inneren Netzhautoberfläche zeigen. Wenn also ein Lichtstrahl in der Richtung h i (Fig. 8) auf die innere Oberfläche der Retina trifft, so wird er zum Einfallslothe abgelenkt und gelangt bei k zur äusseren Retinaoberfläche. An den wirklichen Schatten der Netzhautgrube muss sich also noch ein diesem paralleler Streifen anschliessen, in welchem die äussere Fläche der Retina eben infolge dieser Ablenkung der Lichtstrahlen von keinem Lichte getroffen wird. Dadurch wird der Schatten, allerdings gewiss nur sehr wenig, verbreitert.

Ich hatte nun den Schatten der Netzhautgrube, wie er von anderen Beobachtern geschildert wird, trotz sehr zahlreicher Versuche niemals wahrnehmen können. Da ich mir nun nicht denken konnte, dass dies in einem besonderen Baue meiner Fovea begründet sei, verfiel ich auf den Gedanken, dass der Grund, warum manche Personen jene Erscheinung nicht sehen können, darin zu suchen sei, dass aus irgend einem Grunde das vom Augenhintergrunde reflectierte Licht nicht stark genug ist, um den Schatten der Fovea zu entwerfen. Es könnte dies dadurch bedingt sein, dass die Pupille ziemlich enge ist oder dass der Augenhintergrund stark pigmentiert ist oder dass endlich diese beiden Umstände zusammenwirken. In der That würde dies bei mir zutreffen.

Ich habe daher bei durch Homatropin hervorgerufener Mydriasis die Aderfigur mittels Herumbewegen einer Kerzenflamme vor dem Auge hervorgerufen und konnte dann wirklich den Schatten meiner Netzhautgrube mit grosser Deutlichkeit wahrnehmen. Es kann nur die vermehrte Lichtmenge, nicht aber die veränderte Richtung des Lichteinfalles hierbei in Betracht kommen. Denn bei Mydriasis würde

es allerdings gelingen, das Bild der Lichtquelle auf einem, dem Aequator näher gelegenen Theil des Fundus zu entwerfen, doch müsste dann der Schatten der Fovea gerade schmäler sein als dann, wenn das Flammenbild weiter hinten, näher der Fovea zu liegen kommt. Später konnte ich den Schatten auch ohne Pupillenerweiterung aber nur andeutungsweise sehen.

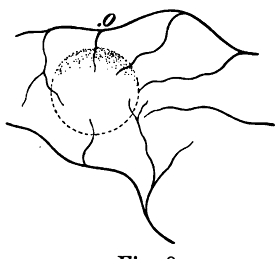


Fig. 9.

In Fig. 9 habe ich den Schatten der Fovea meines rechten Auges sammt den dabei allein sichtbaren mittleren und grösseren Gefässstämmen möglichst naturgetreu abgebildet, u. zw. für die Stellung der Lichtquelle ober der Gesichtslinie. Er ist halbmondförmig, sehr dunkel, nach aussen recht scharf, nach innen nur verschwommen begrenzt und wandert mit der Lichtquelle, der er seine Convexität zukehrt. Eine helle von dem Schatten umgebene Scheibe kann ich nicht wahrnehmen. Der Fixationspunkt liegt im entoptischen Bilde bei mir stets ziemlich weit ausserhalb der Fovea, deren Umkreis dadurch bestimmt werden kann, dass man sich den halbmondförmigen Schatten zu einer Scheibe ergänzt denkt, wie dies in der Figur durch die punktierte Linie angedeutet ist. Er fällt entweder gerade in den Verlauf des im entoptischen Bilde oberhalb der Fovea vorbeistreichenden Gefässes oder selbst noch ober dasselbe nach 0.

Wird der Schatten, der auf eine bestimmte Entfernung projiciert wurde, durch möglichst rasche Bewegung der Kerzenflamme am ganzen Rande der Fovea herumgeführt, so lässt sich der Durchmesser der Fovea, wie er im entoptischen Bilde erscheint, leicht bestimmen. Ich fand denselben, für die Retina berechnet, gleich 0·7 bis 0·9 *mm*.

Da ich keine helle Scheibe, an deren Rande der halbmondförmige Schatten erscheinen würde, sehen kann, so ist nach dem obigen anzunehmen, dass in meiner Fovea kein grosser Fundus foveae existiert, wie dies auch schon deswegen sehr wahrscheinlich ist, weil bei mir

die letzten Capillarschlingen der Mitte der Fovea so nahe liegen, was eben darauf hindeutet, dass die Gehirnschicht in meinen Augen auch noch am Grunde der Fovea gewiss nicht fehlt, wahrscheinlich sogar in ziemlicher Stärke vorhanden ist. Es würden also wohl die in Fig. 7 dargestellten Verhältnisse jenen, wie sie in meinen Augen vorkommen, entsprechen. Aus dieser Figur ist auch ersichtlich, wie es recht wohl möglich ist, dass der Fixationspunkt ausserhalb des Schattens der Fovea in der Richtung der Lichtquelle sich befindet und dass der Schatten eines grösseren ausserhalb der Fovea gelegenen Gefässes e, welches in der Richtung f e vom Lichte getroffen wird, auf die Mitte der Fovea (o) fällt.

Nach allem, was soeben mitgetheilt wurde, muss ich vermuthen, dass der Schatten der Netzhautgrube allen jenen, die denselben für gewöhnlich nicht wahrnehmen können, bei künstlicher Mydriasis sichtbar werden wird. Der sehr schiefe Einfall des Lichtes in die Fovea, bei der überhaupt der Schatten der Fovea bloss enstehen kann, macht es verständlich, dass die Fovea, wie wir sie nach und nach durch kreisförmige Bewegungen des Lichtes um die Gesichtslinie als Achse im entoptischen Bilde umgrenzen können, um sehr vieles kleiner sein muss, als die wirkliche Fovea. Und dennoch ist der Durchmesser der Fovea, wie sie mir nach der Messung im entoptischen Bilde erscheint, noch immer grösser als der Durchmesser der Fovea, wie man ihn nach den bisherigen anatomischen Untersuchungen angegeben hat.

Ich habe dann weiter durch einen Versuch bestimmt, wo das Flammenbild in meinem Auge liegen muss, damit der Schatten der Fovea erzeugt wird. Zu diesem Behufe habe ich mein Auge nach Einträufelung von Homatropin in den Mittelpunkt eines Perimeterbogens gebracht und während ich den Nullpunkt der Theilung fixierte, durch Herumführen einer Kerzenflamme an dem Perimeterbogen bestimmt, unter welchem Winkel gegen die Gesichtslinie das Licht in das Auge fallen muss, damit der Schatten der Fovea wahrgenommen wird. Das Experiment ergab dafür einen Winkel von 20—30°. Sowohl wenn man die Flamme dem Fixationspunkte näher bringt, als wenn man sie von ihm entfernt, verschwindet der Schatten der Fovea. In dem in 20-facher Vergrösserung gezeichneten Augendurchschnitte, dessen hinteren Theil die Fig. 8 darstellt, lässt sich natürlich leicht ermitteln, wo etwa das Flammenbild liegen muss,

damit der Schatten der Netzhautgrube erzeugt werden kann. Zieht man dann den Richtungsstrahl durch den Knotenpunkt, so ergibt sich, dass dieser mit der Gesichtslinie einen Winkel von 24° bildet, eine Uebereinstimmung mit dem Versuchsergebnis, welches die Richtigkeit des oben Dargelegten noch weiter zu bestätigen imstande ist.

Noch wäre endlich eine Erscheinung zu erwähnen. Helmholtz (61) gibt an, dass, wenn er die Lichtquelle der Gesichtslinie nähert, an der Aussenseite des dunklen Schattens ein heller Streifen auftritt, der seiner Meinung nach von Licht herrührt, „welches von hinten, von der Netzhautseite her auf die Oberfläche der Netzhautgrube gefallen und dort reflectiert ist", wie dies Helmholtz in Fig. 101 l. c. erläutert. Es könnte sich dabei bloss darum handeln, dass das Licht, welches bereits in die Retina neben dem Rande der Fovea eingedrungen ist, an der Trennungsfläche zwischen Retina und Glaskörper, u. zw. am Clivus total reflectiert wird. Gegen diese Erklärung scheint mir zu sprechen, dass, wie Helmholtz sagt, der helle Streifen erst dann auftritt, wenn die Lichtquelle der Gesichtslinie genähert wird. Dann rückt aber das Flammenbild auf der Netzhaut der Fovea näher und der Winkel, unter dem das Licht von der Retinaseite her auf den Clivus auffällt, wird ein grösserer, die Bedingungen für die totale Reflexion daselbst ungünstigere, denn es muss jedenfalls der Einfallswinkel für die totale Reflexion beim Uebergange des Lichtes aus der Retina in den Glaskörper ein recht grosser sein. Dagegen wäre es gerade bei der Art, wie dieser helle Streifen zur Beobachtung kommt, möglich, dass derselbe ein negatives Nachbild des Schattens der Netzhautgrube ist. Je mehr man die Lichtquelle, z. B. von der temporalen Seite her, der Gesichtslinie nähert, desto mehr nähert sich das Flammenbild auf der Retina von der nasalen Seite her der Fovea. Damit fällt der Schatten der Fovea auf mehr temporalwärts gelegene Theile der lichtpercipierenden Schichten und es kann dann im entoptischen Bilde temporalwärts, also nach aussen von dem Schatten der Fovea (an der Convexität desselben) ein heller Streifen als negatives Nachbild entstehen, ganz so, wie wir ein solches negatives Nachbild bei dem Schatten der Foveola haben entstehen sehen (Siehe Seite 81).

Die blutrothe Sichel, die Olshausen ganz constant nach aussen von dem Schatten der Fovea sieht, kann nicht auf diese Weise

erklärt werden. Ich möchte glauben, dass man in diesem Falle an eine besonders stark ausgeprägte wallartige Verdickung der Retina denken könnte, durch welche das auf die innere Oberfläche der Retina auffallende Licht wie durch eine Convexlinse auf die lichtempfindende Schichte concentriert wird.

4. *Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel.*

Literatur.

Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel wurden von ihrem Entdecker zuerst in der Weise zu erklären versucht (67), dass das Auge direct die Schwingungen der Aethertheilchen wahrnimmt. Die gelben Büschel sollten der Ausdruck der Schwingungsebene der Lichtwellen sein, was Haidinger sogar zu der Annahme veranlasst hat, dass die Schwingungsebene eines durch eine Turmalinplatte polarisierten Lichtstrahles nicht der krystallographischen Hauptachse des Turmalins parallel ist, sondern darauf senkrecht steht.

Moigno (68) meinte, dass, wenn das weisse Licht durch Polarisation „plan" wird, das Auge zuerst den Strahl, welcher die grösste Intensität hat, nämlich den gelben wahrnimmt, während Silbermann (69) betreffs der Erklärung der Polarisationsbüschel an die Doppelbrechung der Linse und an die Structur des Glaskörpers denkt.

Jamin (70) weist darauf hin, dass polarisiertes Licht, wenn es auf eine Säule geneigter Glasplatten fällt, sich inbezug auf die Brechung, welche es an der Oberfläche des Glases erleidet, verschieden verhält je nach dem Polarisationsazimuth. Die Lichtmenge, welche in die Glasplatte eintritt, ist ein Minimum, wenn die Einfallsebene und die Polarisationsebene zu einander parallel sind, ein Maximum dagegen, wenn die Einfallsebene auf der Polarisationsebene senkrecht steht. Diese Verhältnisse treten auch ein, wenn man aus centrierten concaven oder convexen Linsen eine Säule bildet. Auch im Auge finden vielfache Brechungen des einfallenden Lichtes an der Cornea und an den verschiedenen Schichten der Linse statt. Wenn also senkrecht polarisiertes Licht in das Auge fällt, so wird das gebrochene Licht schliesslich „zwei senkrecht stehende mit ihren Scheiteln im Mittelpunkte zusammenstossende und nach dem Umfange hin breiter werdende dunkle Büschel" darbieten, während in der darauf

senkrechten (horizontalen Richtung) sich zwei helle Büschel von gleicher Gestalt zeigen werden.

Haidinger (71) berichtet ferner über eine von Schrötter geäusserte Ansicht, nach welcher die Polarisationsbüschel durch die Krystalllinse erzeugt werden sollen. Die Linse wäre als doppelbrechender, einachsiger Körper zwischen der lichtpolarisierenden Athmosphäre und dem Glaskörper, der ebenfalls die Eigenschaft, Licht zu polarisieren, haben soll, gelagert, und würde sich so ähnlich verhalten wie eine aus einem einachsigen Körper senkrecht auf die optische Achse desselben geschnittene Platte zwischen zwei über Kreuz liegenden Nicols, nämlich ein dunkles Kreuz mit hellen Ringen zeigen.

Gegen die von Jamin ausgeführte, aber bereits von Erlach (72) angebahnte Erklärung der Polarisationsbüschel wendet Helmholtz (61) ein, dass die Polarisationsbüschel nur im Blau und nur in einem kleinen centralen Theile des Gesichtsfeldes sichtbar sind. Er denkt sich die Entstehung der Polarisationsbüschel folgendermaassen: Bei der Absorption färbigen Lichtes in doppelbrechenden Körpern wird mitunter nur das Licht gewisser Farben und von gewisser Schwingungsrichtung stärker absorbiert. Es kann entweder, wie beim Turmalin, der ordentliche oder, wie beim Rutil und Zinnstein, der ausserordentliche Strahl stärker absorbiert werden. Da nun die meisten organischen Fasern doppelbrechend sind und sich wie einachsige Körper mit zur Längsrichtung der Fasern paralleler Achse verhalten, so kann man die Polarisationsbüschel durch die Annahme erklären, dass „die gelb gefärbten Elemente des gelben Fleckes schwach doppelbrechend sind und dass der ausserordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbiert wird, als der ordentliche Strahl. Geht blaues Licht von beliebiger Polarisation durch eine Fasermasse von dieser Eigenschaft, so wird es stärker absorbiert werden, wenn es parallel den Fasern polarisiert ist, schwach dagegen, wenn seine Polarisationsrichtung ebenfalls senkrecht zur Richtung der Fasern ist“. Die Fasern, welche auf die beschriebene Weise die Polarisationsbüschel hervorrufen, wären nach Helmholtz die sogenannten radiären Fasern von H. Müller, welche in der Gegend des gelben Fleckes schräg verlaufen, indem ihr hinteres Ende sich der Netzhautgrube nähert. Die zu den Zapfen der Netzhautgrube gehörigen anderen Elemente sind in der Umgebung der Grube aufgehäuft und dies erklärt, warum

die Verbindungsfasern nervöser und bindegewebiger Natur schräg verlaufen müssen. „An dem Rande der Netzhautgrube nun, wo die Fasern überwiegend eine schräg gegen ihr Centrum verlaufende Richtung haben, würde nach der gemachten Annahme das Licht stärker dort absorbiert werden, wo die Fasern der Polarisationsebene parallel verlaufen. Ist letztere vertical, so würden also über und unter der Netzhautgrube sich dunklere Stellen bilden, rechts und links hellere. Ebenso würden die Stellen dunkler werden müssen, wo die Fasern nicht mehr schräg gegen die Fläche der Netzhaut liegen, also im Centrum der Grube selbst und nach dem äusseren Rande des gelben Fleckes hin“.

Seitdem hat nur noch Geigel (73) eine andere Theorie der Polarisationsbüschel aufgestellt. Er meint, dieselben könnten vielleicht, durch Interferenz des in der Krystallinse zweimal reflectierten und des eintretenden polarisierten Lichtes entstehen.

Blicke ich durch ein Nicol'sches Prisma gegen eine helle Fläche, so sehe ich bei verticaler Stellung der Polarisationsebene einen senkrechten gelben Büschel, welcher in der Mitte sanduhrartig eingeschnürt erscheint. Die horizontal liegenden etwa dreieckigen Partien rechts und links von der centralen schmalen Stelle des gelben Büschels sind heller und in der Nähe des Fixationspunktes sehr schwach bläulich gefärbt. Nach kurzer Zeit bereits verschwinden bei ruhiger Haltung des Nicol'schen Prismas diese letzteren bläulichen Büschel, wogegen der gelbe etwas länger sichtbar bleibt. Bei einer Drehung des Nicols treten dagegen die gelben Büschel wieder deutlich hervor und stets senkrecht auf ihre Richtung jetzt sehr deutliche blaue Büschel.

Doch zeigt sich in der Form des gelben Büschels bei verticaler oder horizontaler Stellung desselben ein Unterschied. Bei horizontaler Stellung der Polarisationsebene, also auch des gelben Büschels, zerfällt dasselbe in zwei durch einen sehr schmalen Zwischenraum in der Mitte getrennte gelbe Büschel, während nun bloss ein blaues Büschel erscheint, von ganz derselben Form wie vorher das gelbe. Die gelben Büschel sind, wenn sie horizontal liegen, im ganzen etwas länger, aber gegen den Fixationspunkt zu schmäler als in der verticalen Stellung. Immer sind sie an einer Stelle, unweit des Fixationspunktes am stärksten gefärbt.

Andere Personen sehen die gelben Büschel stets in der Mitte verbunden, ob die Polarisationsebenen vertical oder horizontal liegen.

Es scheint aber ziemlich constant zu sein, dass die gelben Büschel in der Nachbarschaft des Fixationspunktes bei horizontaler Lage schmäler sind als bei verticaler. So wird es von Brewster und Helmholtz (61) angegeben und so war es auch bei einigen Collegen, die ich zur Beobachtung der Haidinger'schen Büschel veranlasste.

Die Grösse der horizontal liegenden gelben Haidinger'schen Büschel beträgt für mein Auge auf 4·5 *m* projiciert etwa 40—50 *cm*, also auf der Retina 1·3—1·7 *mm*.

In Anbetracht der bereits von Helmholtz hervorgehobenen Umstände kann man die Erklärung der Polarisationsbüschel nur in der Netzhaut in der Umgebung der Foveamitte suchen. Doch wird die Annahme Helmholtzs bezüglich der Doppelbrechung der Müllerschen Fasern durch die anatomische Untersuchung nicht wahrscheinlich gemacht. Die Müller'schen Fasern sind gerade in der Gegend der Macula nur sehr zart. Sie verlaufen nur sehr wenig schräg zur Netzhautoberfläche. Endlich ist nicht zu verstehen, warum die gelben Polarisationsbüschel gerade unweit des Fixationspunktes am stärksten gefärbt sind, wo doch die Müller'schen Fasern bereits sehr kurz sind.

Ich habe nun verschiedene Netzhautpräparate in Bezug auf die Doppelbrechung untersucht und will die Resultate dieser Untersuchung im folgenden mittheilen.

Doppelbrechung der Netzhautelemente.

Zunächst will ich gleich bemerken, dass in allen Netzhäuten, die in Flemming'scher oder Müller'scher Lösung oder in Sublimat gehärtet worden waren, keine Spur von Doppelbrechung wahrnehmbar war. Dieselbe fand sich nur an solchen, die in Salpetersäure fixiert worden waren und theils gefroren geschnitten wurden, theils nach weiterer Härtung in Alkohol, in Celloidin eingebettet und dann in Schnitte zerlegt wurden.

In einer Netzhaut, die auf die letztere Weise präpariert war, zeigte sich eine sehr deutliche Doppelbrechung in der äusseren Faserschicht. Wurden die beiden Nicols im Polarisationsmikroskope gekreuzt und ein Gipsblättchen I. Ordnung eingeschaltet, dessen erste Mittellinie den Winkel zwischen den beiden Polarisationsebenen der Nicols halbierte, so zeigten sich an dem Präparat folgende Erscheinungen: Lag dasselbe so, dass die Längsachse der Zapfenfasern in der äusseren Faserschicht der grösseren Elasticitätsachse des Gipsblättchens parallel

war, so erschien die ganze Zapfenfaserschicht blau auf rothem Grunde. War die äussere Faserschicht so orientiert, dass die Zapfenfasern mit ihrer Längsachse senkrecht zur I. Mittellinie des Gipsblättchens lagen, dann war die Zapfenfaserschicht gelb. Von den übrigen Schichten zeigte die Nervenfaserschichte sehr deutlich ganz dieselbe Doppelbrechung, wie die äussere Faserschichte, die Stäbchenzapfenschichte eine geringe Doppelbrechung, u. zw. waren die Innenglieder ganz in derselben Weise doppelbrechend, wie die äussere Faserschichte, während die Aussenglieder die entgegengesetzte Doppelbrechung zeigten wie die Innenglieder, d. h. gelblich waren, wenn ihre Achse der grösseren Elasticitätsachse des Gipsblättchens parallel war, blau in der darauf senkrechten Richtung.

Ganz anders waren die Erscheinungen an Netzhäuten, welche in Salpetersäure fixiert und dann gefroren geschnitten wurden, also nicht mit Alkohol und Aether in Berührung gekommen waren. Hier verhält sich die Zapfenfaserschichte in der entgegengesetzten Weise doppelbrechend, d. h. sie war (bei gleicher Anordnung der polarisierenden Apparate) blau, wenn die Zapfenfasern auf die grössere Elasticitätsachse des Gypsblättchens senkrecht verliefen, und gelb, wenn sie mit dieser Achse zusammenfielen. Fast ebenso deutlich und ganz von demselben Verhalten ist die Doppelbrechung in der Nervenfaserschichte der Retina. In geringerem Maasse war auch die innere reticuläre Schichte doppelbrechend und zeigte stets dieselben Farben wie die äussere Faserschichte und auch an der äusseren reticulären Schichte konnte ich an ausserhalb der Macula gelegenen Netzhautpartien, wo sich diese Schichte deutlich von der äusseren Faserschicht sondern liess, ein analoges Verhalten constatieren. Aber auch in den Körnerschichten und in der Ganglienzellenschichte war eine geringe Doppelbrechung wahrnehmbar in der Weise, dass dieselben immer dann gelb erschienen, wenn die äussere Faserschichte blau war und umgekehrt, wenn auch das Maximum der beiden Farben der in Rede stehenden Schichten oft erst dann erreicht wurde, wenn das Präparat noch etwas gedreht wurde. Meist musste diese Drehung in der Weise erfolgen, dass etwa der Clivus der Fovea den Winkel zwischen den Polarisationsebenen der Nicols halbierte. An der Stäbchenzapfenschichte war eine ganz deutliche Doppelbrechung nachweisbar, doch an den Aussen- und Innengliedern von verschiedener Art. Die Innenglieder verhielten sich ganz so wie die äussere Faserschicht, d. h. sie waren gelb, wenn ihre

Längsachse mit der Richtung der grösseren Elasticitätsachse des Gypsplättchens zusammenfiel, und blau in der darauf senkrechten Lage. Infolge ihrer zum Verlaufe der Zapfenfasern in der äusseren Faserschichte fast senkrechten Stellung in der Retina erschienen sie natürlich immer dann gelb, sobald die äussere Faserschichte blau aussah und umgekehrt. Die Aussenglieder zeigten das entgegengesetzte Verhalten — sie waren blau, wenn ihre Längsachse mit der Achse des Gypsplättchens die gleiche Richtung hatte, und gelb, wenn das Präparat aus dieser Stellung um 90° gedreht wurde.

Um nachzuweisen, dass die Doppelbrechung nicht etwa durch die Einwirkung der Salpetersäure beeinflusst worden sei, untersuchte ich eine kaum 3 Stunden nach dem Tode herausgenommene Netzhaut, ohne sie vorher in Salpetersäure zu fixieren. Es wurde ein Stück der Retina aus der Nähe der Papille herausgenommen und in Gummilösung mit dem Gefriermikrotome geschnitten, u. zw. derart, dass die Fasern in der Nervenfaserschicht der Länge nach sichtbar waren. Auch hier zeigte sich ganz dieselbe Art der Doppelbrechung wie nach Einwirkung von Salpetersäure.

Es ergibt sich somit Folgendes bezüglich der Doppelbrechung in der Retina: An den Salpetersäurepräparaten, die gefroren geschnitten wurden, waren die Fasern der inneren und äusseren Faserschichte und die Innenglieder der Stäbchen in Bezug auf die Längsachse negativ, die Aussenglieder positiv doppelbrechend; an den Präparaten, die nach der Salpetersäurefixation noch in Alkohol gehärtet und mit Aether weiter behandelt worden waren, zeigten die Fasern der inneren und äusseren Faserschicht sowie die Innenglieder der Stäbchenzapfen eine in Bezug auf die Längsachse positive Doppelbrechung. Die Aussenglieder waren in Bezug auf die Längsachse negativ doppelbrechend.

Die geringe Doppelbrechung, wie sie in den übrigen Netzhautschichten an den Präparaten ersterer Art beobachtet wurde, lässt sich darauf zurückführen, dass in den Körnerschichten und in der Ganglienzellenschicht in Bezug auf die Längsachse negativ doppelbrechende Fasern annähernd senkrecht zur Netzhautoberfläche angeordnet sind, während eben solche Fasern in der inneren und äusseren reticulären

Schicht der Oberfläche der Retina parallel verlaufen, wie dies in der That auch in dem anatomischen Baue dieser Schichten begründet ist.

Die Doppelbrechung markloser Nervenfasern betreffend ist von Valentin (74) an den Opticusfasern der Retina von Thieren und dem Olfactorius eine verhältnismässig negative Färbung in Bezug auf die Längsachse gesehen worden. Doch bemerkt v. Ebner (75) hiezu, dass man daraus nur schliessen könne, dass hier wahrscheinlich dünne Markscheiden vorhanden sind. v. Ebner selbst gibt an, dass er ebenfalls an dickeren Stämmen des Olfactorius des Frosches bisweilen eine negative Färbung in Bezug auf die Längsachse wahrnehmen konnte, während dünnere Bündel schwach positiv sind, was wahrscheinlich nur von den bindegewebigen Scheiden herrührt. Nach Apathy (76) sind auch die marklosen Fasern doppelbrechend. Die Art der Doppelbrechung wird von ihm nicht angegeben. Er bezieht die Doppelbrechung nicht auf die Primitivfibrillen, sondern auf die interfibrilläre Substanz, resp. auf das darin enthaltene Myelin. Die Doppelbrechung verliert sich nach Behandlung mit Reagentien, welche Myelin lösen (Balsampräparate, Paraffinschnitte).

Ambronn (77) fand ebenfalls bei marklosen Nervenfasern wirbelloser Thiere und beim Tractus olfactorius des Hechtes eine negative Doppelbrechung in Bezug auf die Längsachse. Von ihm wird auch angegeben, dass diese Art der Doppelbrechung sich durch Extrahieren mit Alkohol in eine in Bezug auf die Längsachse positive Doppelbrechung verwandelt.

Bereits Klebs hatte angenommen, dass in den markhaltigen Nervenfasern kleinste krystallinische Theilchen mit ihren optischen Achsen radiär angeordnet seien. Als solche hatte Kühne Protagonkrystalle vermuthet. Auch v. Ebner hält es für erwiesen, dass das Nervenmark positiv einachsig doppelbrechend sei mit radiär gerichteten optischen Achsen, macht jedoch gegen die Annahme Kühne's geltend, dass Protagon in kaltem Aether unlöslich sei, während die Doppelbrechung des Nervenmarkes durch Aether zerstört wird. Ambronn meint nun, dass „sowohl in markhaltigen als in marklosen Nervenfasern eine Grundsubstanz vorhanden sei, welche bei Abwesenheit von Myelin, beziehungsweise Lecithin die normale positive Doppelbrechung besitzt. Ist nun in dieser Partie jener optisch wirksame Körper in Form sehr kleiner mit ihrer optischen Achse radiär, sonst aber gleichsinnig gelagerter Krystalle vorhanden, so wird dadurch die positive

Doppelbrechung der Grundsubstanz verdeckt und es tritt der umgekehrte Charakter ein". „Nach Behandlung mit Aether und Alkohol wird aber immer der positive Charakter der Grundsubstanz rein hervortreten."

Auch in meinen Präparaten war, wie erwähnt, diese anscheinende Umkehrung der Doppelbrechung nach der Einwirkung von Alkohol und Aether nachweisbar. Es erscheint mir ferner bemerkenswert, dass sich die gleiche Art der Doppelbrechung an den Achsencylindern der Nervenfaserschicht, an den Fasern der äusseren Faserschicht und an den Innengliedern der Stäbchenzapfenschicht nachweisen liess, während die Aussenglieder die entgegengesetzte Art der Doppelbrechung aufwiesen, u. zw. wurde dieser Unterschied auch für die schlanken Zapfen der Fovea gefunden.

Bekanntlich unterscheiden sich die Aussenglieder von den Innengliedern der Stäbchen durch manche Reactionen, z. B. durch die Färbung mit Osmiumsäure (M. Schultze, Rudnew) mit Essigsäure — Hämatoxylin (Schaffer), während sich die Innenglieder andererseits mit Carmin allein färben (Braun). Doch werden die Aussenglieder durch Osmiumsäure nicht wie das Nervenmark braunschwarz, sondern grün-braun oder grün-schwarz gefärbt. Nach Kühne wird diese eigenthümliche Färbung durch eine Substanz, die er Myeloid nennt und von dem Myelin der Markscheiden unterscheidet, bedingt. Dass die Substanz der Aussenglieder nicht mit dem Nervenmark indentisch ist, dafür spricht auch die Art der Doppelbrechung, die am Salpetersäurepräparat bereits eine andere als die des Nervenmarkes war und durch die Extraction mit Aether und Alkohol dann umgekehrt wurde.

Die Innenglieder scheinen sich also, soweit man nach der Untersuchung an ihrem optischen Längsschnitte urtheilen darf, optisch ganz ebenso zu verhalten wie die Zapfenfasern, die doch gewiss nicht der Lichtperception dienen. Dagegen zeigen die Aussenglieder neben anderen Unterschieden auch noch eine andere Art der Doppelbrechung als die Innenglieder. Sollte dies nicht dafür sprechen, dass die Lichtperception in den Aussengliedern zu suchen sei? Bereits M. Schultze hat Gründe dafür angeführt, dass die percipierende Stelle die Grenzfläche des Innengliedes gegen das Aussenglied sei, indem er der von Hensen angedeuteten Ansicht zustimmt,

dass den in den Zapfen der Vögel, u. zw. am äusseren Ende des Innengliedes, vorfindlichen farbigen Kugeln die Bedeutung zukomme, Strahlen gewisser Wellenlänge zu absorbieren. Es scheinen ja auch manche andere Umstände: die enge Beziehung der Aussenglieder zu dem für die Regeneration der Sehstoffe so wichtigen Pigmentepithel, das Vorkommen des Sehpurpurs lediglich in den Aussengliedern der Stäbchen auf die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen hinzuweisen. Hensen hat bereits die Aussenglieder als die lichtpercipierenden Elemente angesehen, indem er auf die farbigen Kugeln in den Innengliedern und die eigenthümlichen Erscheinungen beim Betrachten feiner Liniensysteme hinwies.

Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel.

Es kann nach dem, was über die Doppelbrechung der Netzhaut hier mitgetheilt wurde, keinem Zweifel unterliegen, dass es die äussere Faserschichte ist, welche die Polarisationsbüschel erzeugt. In der That entspricht dieselbe in ihrer ganzen Anordnung so vollkommen der Erscheinung der Polarisationsbüschel, dass man bei einem Erklärungsversuche der Haidinger'schen Büschel an diese Schichte denken muss, bevor man noch die Doppelbrechung in der Retina untersucht hat; ihr radiäres Ausstrahlen von der Mitte der Fovea, der Umstand, dass ihre grösste Dicke unweit der Mitte der Fovea liegt, ihre gelbe Färbung, die oben nachgewiesen wurde, alles das weist auf die äussere Faserschichte hin. Der Nachweis der Doppelbrechung in dieser Schichte endlich erhebt es zur Gewissheit, dass wir hier die Entstehungsursache der Haidinger'schen Büschel zu suchen haben. Wir wissen allerdings nicht, ob wir die Zapfenfasern mit negativen doppelbrechenden Krystallen vergleichen können, deren optische Achse der Längsrichtung der Fasern entspricht. Denn die Beobachtung, dass sie in Bezug auf ihre Längsrichtung negativ doppelbrechend sind, kann uns ohne Beobachtung des Verhaltens der Doppelbrechung auf dem Querschnitte darüber nicht aufklären und obwohl ich auch an Querschnitten diese Schichte untersucht habe, bin ich doch zu keinem sicheren Resultate gekommen.

Dennoch kann man Folgendes mit Sicherheit aussprechen: Die Fasern der äusseren Faserschichte sind in Bezug auf ihre Längsachse negativ doppelbrechend, gelb gefärbt und besitzen die Eigenschaft, blaue Strahlen,

deren Polarisationsebene der Richtung ihrer Längsachse parallel ist, stärker zu absorbieren als solche, die senkrecht zu ihrer Längsachse polarisiert sind.

Dass die Polarisationsbüschel in ihren centralen Partien weniger saturiert sind, erklärt sich schon daraus, dass die äussere Faserschichte, wie wir gesehen haben, am Grunde der Fovea in einer gewissen Ausdehnung als eigentliche Schichte fehlt, dennoch sind auch hier Zapfenfasern vorhanden, welche aber zum grossen Theile bereits ausserhalb der Zapfenkörner liegen und steil aufgerichtet der Limitans externa zustreben. Auch diese Fasern wirken ebenfalls durch ihre Doppelbrechung, da wir bei der Erzeugung der Haidinger'schen Büschel auch in der unmittelbaren Umgebung des Fixationspunktes gelb sehen. Ein Schluss auf das Verhalten der Zapfenfasern im Querschnitte lässt sich aber daraus nicht ziehen, da die Fasern doch fast sämmtlich schräg verlaufen und nur wenige derselben, die centralsten und auch diese nur auf kurze Strecke zur Limitans externa senkrecht stehen, so dass sie vom Lichte in der Richtung ihrer Längsachse durchsetzt werden können. Wenn wir die senkrecht stehenden Fasern in Betracht ziehen, so lässt sich, selbst wenn die Fasern auf dem Querschnitte nicht neutral sind, nicht erwarten, dass die durch dieselben hervorgerufene Lichtabsorption von Strahlen gewisser Schwingungsrichtung und Farbe jenen Grad erreicht, wie dort, wo das Licht die Fasern schräg oder senkrecht zu ihrer Längsachse trifft. Wenn die Fasern auf dem Querschnitte nicht neutral sind, würde in jeder Faser ein Kreuz entstehen und obwohl diese Kreuze in allen Fasern gleich orientiert sein müssen, so kann der Gesammteffect der Absorption doch nicht so gross sein, wie bei einer anderen Lage der Fasern zum Lichteinfalle, denn jede einzelne Faser lässt auch entsprechend dem einen Schenkel des Kreuzes Licht durch.

Die Gegend, in welcher die Haidinger'schen Büschel am intensivsten gefärbt erscheinen, entspricht jener Stelle, wo die äussere Faserschichte in einiger Entfernung vom Grunde der Fovea am dicksten ist, während dann weiter peripher die gelbe Farbe mit der Abnahme der gelben Farbe der Netzhaut und mit der geringeren Mächtigkeit der äusseren Faserschichte die gelben Polarisationsbüschel ebenfalls allmählich blässer werden.

Auch die Form der Büschel findet in dem radiären Ausstrahlen der Zapfenfasern ihre Erklärung. (Siehe Merkel (3) Taf. I, Fig. 11.

Dass die Büschel in horizontaler Stellung etwas länger und in der Mitte meist schmäler erscheinen, beruht auf der ovalen Form der Fovea und der dieser Gestalt entsprechenden Anordnung der Retinalelemente.

Es gibt aber auch Personen, die die gelben Büschel in der verticalen Stellung deutlich schmäler sehen als in der horizontalen, wie ich der Mittheilung von Dr. Sachs über das Aussehen der Haidinger'schen Büschel in seinem Auge entnehme.

Ich habe mich vergeblich bemüht durch Flächenschnitte der Retina in der Verlaufsrichtung der Fasern dafür eine anatomische Grundlage zu finden. Es kann auch nicht Wunder nehmen, dass dies nicht gelingt, wenn man bedenkt, dass selbst an den best fixierten Netzhäuten doch noch immer der Grund der Fovea nicht in vollständig normaler Lage erhalten ist. Dadurch müssen aber die äusserst zarten Details der Netzhautstructur bereits verwischt werden.

Nun ist der kleine dunkle Fleck in der Mitte der Fovea, der, wie wir oben gesehen haben, durch die Verdünnung der Netzhaut an dieser Stelle und das Fehlen der Faserschicht daselbst bewirkt wird, oft rund. Man kann also gewiss annehmen, dass die den centralsten Zapfen zugehörigen Zapfenkörner in Kreisform um die Mitte der Fovea angeordnet sind. Die Fovea ist aber, wie wir aus dem mit dem Augenspiegel sichtbaren Reflexring um dieselbe wahrnehmen können, häufig quer-oval. Wenn wir uns nun denken, dass die einzelnen Elemente der Gehirnschicht in gleichmässiger Weise am Rande der Fovea vertheilt sind, die centralsten Zapfenkörner aber ebenfalls in gleichmässiger Weise, jedoch in Kreisform um die Mitte der Fovea liegen, so können wir uns den Verlauf der Fasern in der äusseren Faserschicht nach Art der beistehenden Fig. 10 vorstellen. Es sind hier von

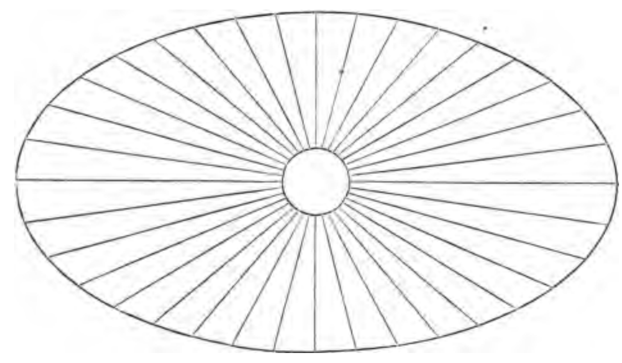


Fig. 10.

gleich weit voneinander abstehenden Punkten des Ovals, welches den Rand der Fovea etwa darstellen würde, Linien zu einem kleinen Kreis, der in der Mitte des Ovals liegt, gezogen, u. zw. derart, dass die Punkte, an welchen diese Linien an der Kreisperipherie endigen, ebenfalls gleich weit voneinander entfernt sind.

Es ist nun klar, dass nicht nur jene Fasern der äusseren Faserschichte, welche der Polarisationsebene vollkommen parallel sind, das Licht in der oben angegebenen Weise absorbieren, sondern, wenn auch in geringerem Grade, auch noch Fasern, welche unter einem gewissen Winkel gegen die Richtung der Polarisationsebene geneigt sind. Bei einer gewissen Grösse des Winkels, welchen man dann als den Grenzwinkel bezeichnen könnte, wird die angegebene Wirkung der Fasern aufhören. Die Figur 10 zeigt nun, dass die nach oben und unten verlaufenden Fasern bereits in geringer Entfernung von der Verticalen ziemlich stark gegen diese geneigt sind, während die nach rechts und links streichenden Fasern erst in grösserem Abstande von der horizontalen Richtung jenen Grenzwinkel, bei dem keine stärkere Absorption der blauen Strahlen mehr eintritt, erreichen.

Es liegt hierin die Erklärung für jene Fälle, wo die gelben Büschel in der verticalen Stellung schmäler erscheinen als in der horizontalen. Für jene Augen, die die gelben Büschel in horizontaler Stellung in der Mitte schmäler sehen, ist eben eine andere Lagerung der centralen Theile der äusseren Körnerschicht vorauszusetzen. Diese müssten entweder ebenfalls in Form eines Ovals angeordnet sein, oder zwar in Kreisform, aber nicht in einer nach allen Richtungen gleichmässigen Vertheilung.

Sind, wie dies auch vorkommt, die gelben Büschel in jeder Stellung gleich, so ist eine kreisrunde Fovea mit kreisförmiger Anordnung der centralen Theile der äusseren Körnerschicht zu vermuthen.

Die Beobachtung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel lehrt, dass es eigentlich nur die gelben Büschel sind, welche zunächst in Erscheinung treten, von den blauen Büscheln sieht man, wenn man durch ein ruhig gehaltenes Nicol'sches Prisma blickt, nur eine schwache Andeutung, dreht man aber den Nicol, dann kommen auch die blauen Büschel mit voller Deutlichkeit zum Vorschein. Man kann daraus schliessen, dass die blauen Büschel zum grossen Theile nur dadurch entstehen, dass bei der Drehung des Nicol auf jenen Netzhautstellen, welche früher nur gelbes

Licht empfangen haben, durch successiven Contrast die blaue Gegenfarbe hervortritt. Dafür spricht auch die Beobachtung, dass, wenn man den Nicol nach einigen Drehungen wieder ruhig hält, zuerst die blauen Büschel bis auf eine geringe Andeutung verschwinden, die gelben aber viel länger bestehen bleiben, um dann endlich auch immer mehr zu verblassen, und endlich ebenfalls, offenbar durch locale Adaption der Retina unsichtbar zu werden.

In den meisten Augen befindet sich vor der dicksten Stelle der äusseren Faserschicht noch eine ziemlich dicke Lage der Gehirnschicht, welche eine intensiv gelbe Färbung enthält (Tafel, Fig. 2). Nur in jenen Augen, wo ein grosser Fundus foveae vorhanden ist (Tafel, Fig. 1), liegt die äussere Faserschicht in der Fovea fast bloss. Es wird daher in den meisten Fällen das Licht, welches zur äusseren Faserschichte, u. zw. zu den wirksamsten dicksten Partien derselben gelangt, bereits durch die Absorption der kurzwelligen Strahlen in der Gehirnschicht wesentlich verändert sein. Nun wird noch durch die in der Richtung der Polarisationsebene verlaufenden, ebenfalls gelb gefärbten Zapfenfasern der letzte Rest der kurzwelligen Lichtstrahlen absorbiert, so dass das terminale Licht, wie sich Hering ausgedrückt hat, nur gelbe Strahlen enthält. In der zur Polarisationsebene senkrechten Richtung wird ebenfalls durch die vor der äusseren Faserschichte liegenden gelb gefärbten Theile der Netzhaut das Licht kürzerer Wellenlänge absorbiert, hier fehlt aber die weitere Absorption durch die Zapfenfasern, und dieser Unterschied in der Absorption in den beiden aufeinander senkrechten Richtungen ist es, welcher uns in der Richtung der Polarisationsebene und entsprechend der Anordnung der Zapfenfasern die gelbe Farbe der Macula lutea sichtbar macht, welche uns sonst durch die locale Adaptation der Retina (Hering) für dieselben nicht wahrnehmbar ist.

Die geringe blaue Färbung, welche gleich beim Vorsetzen des Nicols, senkrecht auf die Richtung der gelben Büschel, u. zw. dort zu sehen ist, wo später beim Drehen des Nicols die centralsten Partien der blauen Büschel hervortreten, ist durch simultanen Contrast, hervorgerufen durch die gelben Büschel, zu erklären.

5. *Die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea.*

Ewald (78) hat zuerst gezeigt, dass man nach längerer Ruhe des Auges imstande ist, die Macula lutea mit ihrer gelben Farbe

direct wahrzunehmen. Hering (49) sieht, wenn er das Auge nach der Nachtruhe noch während der Dämmerung öffnet, die Macula als einen grossen, sehr dunklen rundlichen Fleck, dessen querer Durchmesser etwas grösser und dessen hellerer Theil geblich ist. Rampoldi (79) beschreibt die entoptische Wahrnehmung der Macula unmittelbar nach dem Erwachen als einen dunklen rundlichen Fleck, der mitunter von einem rothen Ring umgeben ist.

Ich sehe die Macula lutea sehr oft des Morgens beim Erwachen, ja auch bei Tage, wenn ich die Augen durch etwa $^1/_2$ Stunde geschlossen halte und dann auf eine schwach beleuchtete helle Fläche blicke, als rothen Fleck mit verschwommenen Grenzen, manchmal aber auch und nur des Morgens als dunklen Fleck, jedoch ohne gelbliche Farbe. Der dunkle Fleck erscheint mir stets bedeutend grösser als der rothe Fleck und scheint nur bei schwächerer Beleuchtung aufzutreten. Stets verschwindet die Erscheinung bei gleichmässiger Beleuchtung (durch locale Adaptation) sehr bald und lässt sich nur dadurch noch wieder hervorrufen, dass man bald nach dem Verschwinden des Fleckes die Augen für kurze Zeit wieder schliesst und dann rasch wieder öffnet. Auf diese Weise kann ich, ebenso wie Ewald, die Erscheinung noch einigemal, aber immer im abnehmender Sättigung und für immer kürzere Zeit hervorrufen.

Auf Anregung Prof. Exners, der meinte, ob nicht bei der Wahrnehmung der Macula als rothen Fleck das durch die Lider eindringende rothe Licht in Betracht komme, machte ich den Versuch in der Weise, dass das Auge vollständig verdeckt wurde. Ich verband ein Auge mit einer schwarzen Binde und schloss das andere. Als ich nach Verlauf von einer $^1/_2$ Stunde das nicht verbundene Auge öffnete, sah ich die Macula als rothen Fleck, sowie früher beschrieben, an der Zimmerdecke. Wurde dann aber der Verband vom anderen Auge rasch entfernt und dieses Auge gleichzeitig geöffnet, so erschien hier die Macula nicht roth, sondern als ein verwaschener dunkler Fleck.

Es beruht die Wahrnehmung der Macula als rother Fleck, also nur darauf, dass bei einfach geschlossenen Lidern das Auge von rothem Lichte erfüllt ist. Wird dann das Auge plötzlich geöffnet, so adaptiert sich die Retina sehr rasch für das weisse Licht, während die Rothempfindung in der Fovea infolge des in dieser Gegend langsameren Verlaufes der Erregungszustände noch etwas länger bestehen bleibt. Es dürfte dabei noch mitwirken, dass durch die Farbe der Macula

gerade die gelben und rothen Strahlen aus dem weissen beim Oeffnen des Auges einfallenden Licht nicht absorbiert werden. Der Umstand, dass mir die Macula des Morgens beim Erwachen meist als dunkler Fleck sichtbar wird, ist dadurch zu erklären, dass in der Dämmerung oder in einem theilweise verfinsterten Zimmer weniger Licht durch die Lider ins Auge dringt.

Der rothe Ring um die gelb oder dunkelgefärbte Macula, den Ewald und Rampoldi beschrieben, könnte vielleicht in ähnlicher Weise entstehen. Denn auch in dem Falle, wenn, wie dies Ewald gethan hat, die Augen vor dem Oeffnen vollständig verdeckt werden, wäre es möglich, dass eine Rothempfindung in der Gegend der Macula zustande kommt, da das Tageslicht selbst nach den Untersuchungen von Brücke und von Memorsky ziemlich stark röthlich ist. Die Meinung Ewalds und Rampoldis, dass jener rothe Ring der Ausdruck des Sehpurpurs sei, scheint mir unhaltbar, denn es ist nicht denkbar, dass die Aussenglieder der Stäbchenzapfenschicht die Farbe eines in ihr enthaltenen Stoffes unserer Wahrnehmung vermittle.

Bekanntlich kommt die Macula lutea auch noch in anderer Weise zur Wahrnehmung. Sie erscheint als der sogenannte Maxwell'sche Fleck, wenn man durch ein blaues Glas nach einer hellen Fläche hinblickt. Derselbe ist im reinen Blau und denjenigen gemischten Farben sichtbar, welche Blau enthalten.

Als der constantere Theil der Erscheinung wird von Helmholtz (61) der dunkle sogenannte gefässlose Hof als ein rhombischer schattiger Fleck beschrieben, welcher von einem hellen blauen Streifen, dem sogenannten Loewe'schen Ring, umgeben wird. In diesem dunklen Fleck soll die Netzhautgrube als ein etwas hellerer blauer Fleck mit ziemlich scharfen Grenzen sichtbar sein. Exner (80) beschreibt die Erscheinung in etwas anderer Weise. Er sieht eine aus mehreren concentrischen hellen und dunklen Ringen zusammengesetzte Figur. Der äusserste derselben, der dunkler als die Umgebung ist, hat einen Durchmesser von 0·3—0·4 *mm* auf der Netzhaut, der dem von Maxwell und Helmholtz beschriebenen dunklen Fleck entspricht. Er umfasst einen hellen Ring, dessen Durchmesser auf der Retina 0·2 *mm* ist. Dieser erscheint heller als die den ersten dunklen Ring umgebende Macula lutea. In der Mitte dieses hellen Ringes findet sich dann wieder ein etwas sternförmig ausgezogener dunkler und scharf begrenzter Kreis, dessen Netzhautdurchmesser etwa 0·1 *mm* beträgt.

In diesem liegt endlich ein scharf begrenzter heller Fleck, der in seiner Mitte einen minimalen schwarzen Punkt enthält. Exner gibt auch eine den Maxwell'schen Fleck darstellende Abbildung. Der äusserste dunkle Kreis entspricht bei Exner den eigentlichen Polarisationsbüscheln, „welche gleichsam von ihm übrig bleiben, wenn man während der Betrachtung der beschriebenen Figur ein Nicol'sches Prisma vor das Auge bringt. An der Stelle, wo beide Polarisationsbüschel zusammenstossen, sehe ich auch dann noch, sowie im unpolarisierten blauen Lichte, jenen sternförmigen dunklen Fleck mit dem weissen in ihm sammt dem schwarzen Punkt."

Während Helmholtz zur Erklärung des Maxwell'schen Fleckes die Absorption des blauen Lichtes durch das gelbe Pigment in Anspruch nimmt, zieht Exner noch die Absorption in den doppelbrechenden Fasern der Netzhaut heran. Er sagt diesbezüglich: „Dringt blaues Licht durch die Fasermasse der Netzhautgrube, so wird es doppelt gebrochen. Der polarisierte Strahl wird dort stark absorbiert, wo er parallel der optischen Achse der Fasern, also in der Richtung der Fasern selbst eindringt. Je mehr seine Richtung von jener der Fasern abweicht, desto geringer wird die Absorption sein. Ist die Faserrichtung an verschiedenen Stellen gleich geneigt zur Richtung des einfallenden Strahles, so wird die Absorption desto grösser sein, je dicker die Schichte der Fasern ist". Exner beruft sich nun auf die Abbildungen der Fovea von M. Schultze, aus welchen hervorgeht, dass die Müller'schen Fasern in der nächsten Nähe der Fovea mit Ausnahme der Tiefe derselben in ziemlich gleicher Neigung verlaufen. Die Dicke der Faserschicht ist aber an verschiedenen Stellen eine verschiedene. Sie nimmt bis zum Rande der Fovea zu und dies würde den äusseren dunklen Ring des Maxwell'schen Fleckes erklären. Durch die Abnahme der Schichte gegen die Mitte der Fovea würde der helle Ring hervorgerufen werden. Dagegen richten sich am Grunde der Fovea die Fasern wieder auf und so soll der dunkle Fleck in der Mitte des hellen Ringes entstehen. Für den hellen Fleck im Centrum meint Exner die Abwesenheit der Müller'schen Fasern in der Mitte der Netzhautgrube anführen zu können, wogegen er für den schwarzen centralen Punkt keine Erklärung hat.

Mayershausen (81) sieht den Maxwell'schen Fleck als einen sechsstrahligen Stern. In demselben findet sich der ebenfalls etwas sternförmig ausgezogene helle Hof und dieser umschliesst eine vier

strahlige dunkle Figur, in deren Centrum sich wieder eine vierstrahlige helle Figur vorfindet, welche der hellste Theil der Erscheinung ist. Das ganze wird umgeben von dem Loewe'schen Ringe, den Mayershausen auf der von ihm beigegebenen Figur nicht dargestellt hat.

Wenn ich hinter einem blauen Glase rasch die Augen öffne, so sehe ich den Maxwell'schen Fleck als eine querovale oder besser nahezu rhombische dunkle Stelle in der Gegend des Fixationspunktes, welcher ziemlich unregelmässig und verschwommen begrenzt ist. Derselbe misst auf 50 *cm* projiciert 12—13 *mm* in horizontaler Richtung und etwa 10 *mm* in verticaler, also für die Netzhaut berechnet 0·36—0·39 *mm*, beziehungsweise 0·3 *mm*. Ganz im Centrum des dunklen Fleckes, der gegen seine mittleren Partien mehr und mehr an Saturation zunimmt, zeigt sich eine sehr kleine helle Stelle, wo die Helligkeit des durch das blaue Glas durchgelassenen Lichtes nicht vermindert scheint. Sie hat auf die angegebene Entfernung projiciert nur etwa 2 *mm* Durchmesser, was also auf der Retina einer Grösse von nur 0·06 *mm* entsprechen würde. Bewege ich hinter dem blauen Glase knapp vor dem Auge ein Diaphragma, so wird der Maxwell'sche Fleck grösser und mehr oval. Halte ich ein Nicol'sches Prisma hinter das blaue Glas, so nehme ich entsprechend der Stellung der Polarisationsebene dunkle Büschel ganz von dem Aussehen und der Lage der Haidinger'schen gelben Büschel wahr. Stehen die Büschel horizontal, so erscheinen sie länger, in der Mitte etwas schmäler und zerfallen fast vollständig in zwei Büschel, welche durch jenen kleinen Fleck voneinander getrennt werden. Liegen die Büschel vertical, so sind sie kürzer, in der Mitte etwas breiter und vereinigen sich rechts und links von dem kleinen hellen Fleck. Auch sind die verticalen Büschel meist etwas dunkler als die horizontalen.

Mit Berücksichtigung dessen, was wir früher über die Vertheilung der gelben Farbe in den einzelnen Schichten der Retina mitgetheilt haben, können wir uns, glaube ich, recht wohl die verschiedenen Formen des Maxwell'schen Fleckes und das Aussehen der Haidinger'schen Büschel im blauen Lichte erklären.

Der einfachste Fall ist jener, wie er sich in meinem Auge darstellt. Aus dem Verhalten der Gefässe lässt sich, wie früher schon erwähnt, schliessen, dass in meinem Auge die Gehirnschicht noch in ziemlicher Dicke sich am Grunde der Fovea vorfinden muss, was wieder nur in jenen Fällen vorkommt, wo die Fovea nicht sehr

flach gebaut ist, sondern wo der Clivus direct in die Foveola übergeht (siehe Tafel, Fig. 2). Hier liegt aber vor der dicksten Stelle der äusseren Faserschicht noch eine recht dicke Lage der Gehirnschicht. Es ist also ganz natürlich, dass sich die Absorption seitens der gelben Zapfenfasern nicht gesondert von der Absorption des Lichtes durch die gelbe Gehirnschicht geltend machen kann. Ich sehe daher nicht mehrere Ringe, sondern nur einen dunklen Fleck. Der centrale kleine helle Fleck lässt sich dadurch erklären, dass im Centrum der Fovea in einer minimalen Ausdehnung die Zapfenfasern in der That wenigstens zum Theile senkrecht zur Limitans externa stehen und daher von dem Lichte entlang ihrer Längsachse durchsetzt werden. Während nun an allen übrigen Stellen der Fovea die Zapfenfasern die blauen Lichtstrahlen von gewisser Schwingungsrichtung stark absorbieren, wird dieses hier dann gar nicht der Fall sein, wenn die Zapfenfasern auf ihrem Querschnitte neutral sind und selbst wenn dieses nicht der Fall ist, haben wir — wie oben auf Seite 101 auseinandergesetzt wurde — an dieser Stelle eine viel geringere Absorption zu erwarten. Es kommt also hier (abgesehen von der geringen Absorption, die durch die gelbe Farbe der Fasern bedingt wird) nur die Absorption der blauen Strahlen seitens der Gehirnschicht in Betracht, welche, da diese Schicht der Retina hier am allerdünnsten ist, nicht bedeutend sein kann. Man sollte nach dieser Erklärung erwarten, dass auch in den Haidinger'schen Büscheln bei verticaler Stellung derselben eine kleine Lücke zu finden sein müsste. Es ist auch sehr gut möglich, dass dieselbe vorhanden ist, aber bei der Verschwommenheit der ganzen Erscheinung und bei dem geringen Contrast der schwachgelben Färbung gegen den hellen Grund kann dieselbe nicht zur Wahrnehmung kommen.

Anders wird sich die Sache verhalten, wo die Fovea flacher gebaut ist; dabei kann die Gehirnschicht am Grunde der Fovea bis auf eine schwache Andeutung ganz fehlen (Tafel, Fig. 2) oder sie kann sehr verdünnt sein, es kann ein eigentlicher Fundus foveae vorhanden sein oder nicht. Wir können uns diese Verhältnisse sehr wohl aus Tafel, Fig. 2 construieren, wenn wir uns denken, dass der Clivus sehr allmählich abfallend ohne Vermittlung eines Fundus foveae bis zur Foveola reicht und dass die Gehirnschicht, wenn auch sehr dünn auch noch in der Foveola erhalten ist. Jedenfalls sehen wir, dass bis zu der Stelle etwa, wo die äussere Faserschichte am Grunde der Fovea aufhört, die Absorption der blauen Strahlen einen dunklen

Ring im blauen Lichte bilden muss, eben jenen äussersten dunklen Ring, wie er in den Abbildungen von Exner und Mayershausen zu sehen ist.

Der helle Ring, der von diesem umfasst wird, hat bei Exner einen Durchmesser von 0·2 *mm*, wurde also nach den alten Anschauungen auf die Fovea centralis bezogen. Auch bei Mayershausen ist er bedeutend kleiner als der gefässlose Bezirk, also kleiner als 0·45 *mm* (58, Taf. VI Fig. 2). Er entsteht dadurch, dass dort, wo die Zapfenfaserschichte am Grunde der Fovea aufhört, die äusseren Körner bis zur Gehirnschicht nach vorn rücken, so dass die Zapfenfaser gleichsam durch die in ihren Verlauf eingeschaltete äussere Körnerschicht unterbrochen wird. Zwischen den äusseren Körnern liegen wohl auch hier noch Zapfenfasern, doch können sie in ihrer Gesammtheit keine wesentliche lichtabsorbierende Wirkung ausüben. Es bleibt also hier nur die Lichtabsorption seitens der Gehirnschicht, welche an dieser Stelle schon sehr dünn ist. Dann kommt gegen die Mitte der Fovea eine Gegend, wo die äussere Körnerschicht dünner wird und die Zapfenkörner sehr locker, gleichsam verstreut liegen. Grössere, von schräg verlaufenden Zapfenfasern durchsetzte Zwischenräume trennen hier die einzelnen Zapfenkörner. Wenn wir nun annehmen, dass die Zapfenfasern auch hier, wo sie bereits vom Zapfenkorn gegen die Limitans externa verlaufen, gelb gefärbt sind (es ist dies allerdings nicht erwiesen, aber höchst wahrscheinlich), so haben wir hier die Erklärung für den kleinen dunklen Ring innerhalb des früher erwähnten hellen Ringes, dessen Durchmesser auf der Retina Exner mit 0·1 *mm* angibt. Hier kommt die Absorption seitens der Gehirnschicht ebensowohl als seitens der Zapfenfasern wieder zur Geltung. Ganz in der Mitte der Fovea centralis endlich, wo in sehr geringer Ausdehnung die Zapfenfasern senkrecht stehen und in dieser Richtung vom Lichte durchsetzt werden, findet aus den bereits früher angeführten Gründen nur eine sehr geringe Absorption der blauen Strahlen statt und diese Stelle würde dem centralen hellen Fleck in den Abbildungen Exners und Mayershausens entsprechen. Der kleine dunkle Fleck, den Exner in der Mitte der centralen hellen Stelle sieht und der, wie er angibt, bereits an der Grenze des deutlichen Sehens liegt, ist wohl in einem zufälligen Structurverhältnis der Retina begründet. Auch ich sehe in meinem linken Auge einen solchen Punkt, wenn ich mir die Gefässschatten zur Wahrnehmung bringe (siehe oben Seite 76).

Auch die oben bereits citierte Angabe Exners über das Verhalten der Polarisationsbüschel zum Maxwell'schen Fleck lässt sich aus der Erklärung deducieren, denn wo die Zapfenfasern schon sehr schräg zum Lichteinfalle liegen, kann ihre Absorption für Licht von bestimmter Schwingungsrichtung nicht mehr so ins Gewicht fallen, wie dort, wo sie der Netzhautoberfläche nahezu parallel liegen.

Für den Loewe'schen Ring, den ich selbst übrigens nicht sehen kann, ergibt sich aus der anatomischen Structur der Retina keine Erklärung.

6. *Die Zapfenmosaik der Fovea centralis.*

Es möge hier noch jene Erscheinung erwähnt werden, die Czermak (82) auf die Stäbchen- und Zapfenschicht bezieht. Sie kommt bei rasch wechselnder Beleuchtung (durch Drehung einer Pappendeckelscheibe mit Löchern) zur Wahrnehmung, entwickelt sich aus der Purkinje'schen Schattenfigur und besteht aus einem regelmässigen und scharf gezeichneten Mosaik von kleinen und runden Scheibchen. Doch bemerkt Czermak selbst, dass diese Scheibchen stets unter grösserem Gesichtswinkel erscheinen als dem Durchmesser der Zapfen im gelben Flecke entspricht. Auch sind sie unter verschiedenen Umständen bald grösser, bald kleiner. Czermak sieht die Figur nur in einer centralen Stelle, welche manchmal die Gestalt einer Raute hat. Später hat dann auch Boll (50) die Erscheinung erwähnt und Nuel (60) und Wolffberg (59) die einzelnen hellen Punkte sogar gezählt und in Uebereinstimmung mit der in der Fovea auf anatomischem Wege bestimmten Zahl der Zapfen gefunden. Nuel gibt an, dass er an der feinen mosaikartigen Zeichnung keine Verschiebung derselben im ganzen sehen konnte, doch innerhalb derselben eine Wellenbewegung, wie bei einem Kornfelde unter dem Einflusse des Windes. Olshausen (66) und ebenso Wolffberg sah die Mosaik sich in derselben Richtung bewegen wie die Oeffnung.

Helmholtz (61) hat bereits, wie auch Wolffberg erwähnt, beschrieben, dass bei ihm eine Stelle in der Umgebung des Fixationspunktes chagriniert aussieht, u. zw. erscheint bei der Methode der entoptischen Untersuchung durch Concentrierung von Licht auf der Sklera diese chagrinierte Stelle auf der dem Lichte abgewendeten Seite etwas von den Gefässchatten überdeckt, während auf der dem Lichte zugekehrten Seite zwischen dem Rande der centralen gefäss-

losen Stelle und jener chagrinierten Partie ein Zwischenraum bleibt, woraus Helmholtz schliesst, dass die „Gefässverzweigungen mehr nach vorne liegen, als die Schichte, welche durch Brechung oder Zurückwerfen des Lichtes das chagrinierte Aussehen erzeugt“. Die chagrinierte Stelle scheint Helmholtz sich in der entgegengesetzten Richtung zu bewegen, als der Gefässschatten.

Die bei Einwirkung von Zitterlicht auftretende von Exner (80) genauer beschriebene Erscheinung einer schachbrettartigen Zeichnung ist wie aus der Beschreibung Exners hervorgeht, nicht hierher gehörig und wird von ihm selbst zur Purkinje'schen Lichtschattenfigur in Beziehung gebracht.

Ich sehe, wenn ich mir die Aderfigur durch Bewegung eines feinen Diaphragmas vor dem Auge hervorrufe, nur eine sehr feine Chagrinierung des Grundes, welche in der Umgebung des Fixationspunktes etwas stärker ausgesprochen ist, kann dieselbe aber nicht in einzelne Kreise auflösen. Diese Chagrinierung bewegt sich gleichsinnig mit den Verschiebungen des Diaphragmas. Bewege ich das Diaphragma schneller, so dass die Gefässschatten oder wenigstens jene der feineren Gefässe verschwinden, so erscheint central eine in ihrer Grösse etwa dem Schatten der Foveola entsprechende dunkle Stelle, welche wie gegittert aussieht und sich in derselben Richtung wie das Diaphragma verschiebt. Die einzelnen Oeffnungen dieses Gitters sind aber sehr gross. Durch Vergleichung mit der bei langsameren Bewegungen des Diaphragmas auftauchenden Gefässschattenfigur ergibt sich, dass von den Oeffnungen dieses Gitters nur etwa 3—4 auf den queren Durchmesser der centralsten Gefässchlinge in meinem rechten Auge gehen (Fig. 3). Nur manchmal und nur vorübergehend breitet sich diese gitterartige Erscheinung auf ein grösseres Areal aus.

Schon Krause (83) hat auf den Widerspruch hingewiesen, der darin liegt, dass die Stäbchenzapfen, die man als die lichtempfindende Schichte betrachtet, sich gleichsam selbst sehen sollen, und hat den Czermak'schen Versuch als Stütze seiner Theorie, dass die Stäbchenzapfenschicht katoptrisch wirkt, verwertet. Nun haben aber alle neueren Untersuchungen bewiesen, dass die Stäbchenzapfenschicht die lichtempfindende ist und ich selbst werde weiter unten imstande sein, einen weiteren Beweis für diese Ansicht zu erbringen. Wozu es aber führt, wenn man annimmt, dass in der Stäbchenzapfenschicht selbst die Ursache für jene

Erscheinung liegt, das zeigt die Arbeit Nuels, der dazu gelangte, innerhalb eines Zapfens bis 20 einzelne lichtempfindende Fasern zu supponieren.

Die in der Richtung der Verschiebungen des Diaphragmas erfolgende scheinbare Verschiebung der ganzen Figur beweist aber, dass jene Schichte, welche die Chagrinierung, resp. das mosaikartige Aussehen hervorruft, vor der lichtempfindenden Schichte gelagert sein muss. Bei der Zartheit der ganzen Erscheinung kann man nicht an gröbere Gebilde, wie die am Grunde der Fovea vorfindlichen Ganglienzellen, inneren oder äusseren Körner denken. Auch liegen dieselben in verschiedenen Ebenen, während man unbedingt ein sehr zartes, flächenhaft ausgebreitetes Gebilde als Ursache voraussetzen muss. Wenn wir aber annehmen, dass die lichtempfindende Schichte der Retina die Aussenglieder der Stäbchenzapfen sind — und wir haben oben bereits Beobachtungen angeführt, welche sehr ernstlich darauf hindeuten — so ergibt sich ein Weg zur Erklärung.

Die Membrana limitans externa ist eine zarte von zahlreichen, den Stäbchen und Zapfen entsprechenden Löchern durchbrochene Membran, welche, um die Worte Schwalbes (13) zu gebrauchen, „bei Flächenansichten als ein höchst zierliches Gitterwerk mit sehr dünnen Bälkchen und grösseren und kleineren runden Maschen erscheint“. Von der Aussenfläche derselben erheben sich feine Fäserchen, deren Gesammtheit als Faserkorb von M. Schultze beschrieben worden ist und welche mit knötchenförmigen Verdickungen an der Limitans externa beginnen. Man ist wohl berechtigt für die Membrana limitans externa, da sie dem Stützgewebe der Retina angehört, einen anderen Brechungsindex anzunehmen als für die Stäbchen und Zapfen.

Es liegt nun sehr nahe, dieses feine Gitterwerk der Limitans externa, welches in einer gewissen Entfernung vor den lichtempfindenden Aussengliedern der Stäbchenzapfen liegt, als die Ursache der feinen Chagrinierung, beziehungsweise der mosaikartigen Zeichnung zu betrachten.

Würde es sich bei dem entoptischen Versuch durch Bewegung einer feinen Oeffnung vor dem Auge wirklich nur um parallele Lichtstrahlen, welche die Netzhaut treffen, handeln, so würde bei etwas schiefem Lichteinfall der Schatten je eines zwischen zwei Zapfeninnengliedern gelegenen Bälkchens der Limitans externa eventuell auf

je ein Zapfenaussenglied fallen, wie dies in der linken Hälfte von Figur 11 in 1000facher Vergrösserung schematisch dargestellt ist.

Es würde daraus nur eine gleichmässige geringere Beleuchtung des entoptischen Gesichtsfeldes im Gegensatze zu jenem Falle resultieren, wo das Licht die Zapfen parallel ihrer Längsachse durchsetzt.

In Wirklichkeit werden aber parallel auf die Foveola auffallende Strahlen durch die Brechung an der vorderen Fläche der Retina divergent gemacht. Liegt zufällig, wie dies thatsächlich sehr leicht geschehen kann, das Diaphragma bereits innerhalb der vorderen Brennweite des Auges, so sind die Strahlen im Glaskörper bereits divergent und werden durch die Brechung an der vorderen Fläche der Retina in der Foveola noch divergenter. Diese lichtzerstreuende Wirkung der Foveola ist unter Umständen durchaus nicht gering anzuschlagen. Die Beobachtung der ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Retina zeigt uns, dass der Brechungsindex der Retina von jenem des Glaskörpers nicht unbedeutend abweicht. Ich habe ferner (7, Seite 233) den Krümmungsradius der Foveola für eine mittlere Grösse des Reflexes der Foveola (des sogenannten Fovealreflexes) mit 0·3 *mm* berechnet. Man findet aber Augen, wo der Durchmesser dieses Reflexes ein minimaler ist, wo also der Krümmungsradius der Foveola sehr weit unter jener Zahl bleiben muss.



Fig. 11.

Aus der rechten Hälfte der Figur 11 ist nun ersichtlich, dass bei divergentem Strahleneinfall die Bälkchen der Limitans externa

derart einen Schatten auf die Aussenglieder der Zapfenschichte werfen können, dass einzelne der inneren Enden der Zapfenaussenglieder vom Lichte getroffen werden, andere nicht. (In Wirklichkeit wird der Strahlenverlauf dadurch etwas von dem in der Figur dargestellten abweichen, dass die Oeffnung im Diaphragma keine punktförmige ist, so dass die Strahlen, die auf die Retina fallen, auch nicht von einem Punkte im Glaskörper ausgehen.)

Es wird nun von der Divergenz der auf die Limitans externa auffallenden Strahlen, die wieder durch die Lage des Diaphragmas vor dem Auge und den Bau der Foveola bedingt ist, dann von der Entwicklung der Limitans externa, von der Länge und Breite der Zapfeninnenglieder und von dem Verhältnis dieser Factoren zueinander abhängen, ob man nur eine Chagrinierung oder eine wirkliche Mosaik von hellen Scheibchen wahrnimmt. Auch die festonierten Linien, die Nuel bei der Untersuchung mittels eines Spaltes gesehen hat, erklären sich auf diese Weise. Dabei ist es durchaus nicht nöthig, dass der Schatten der Limitans externa im ganzen Bereich der Foveola auf einmal so auf die Aussenglieder der Zapfen fällt, dass das Bild der Mosaik entsteht. Der Schatten wird vielmehr bei den kreisenden Bewegungen des Diaphragmas successive auf verschiedene Gruppen von Zapfenaussengliedern in der zur Wahrnehmung der Zapfenmosaik nöthigen Weise entworfen und aus den Nachbildern dieser Eindrücke setzt sich dann das entoptische Bild zusammen.

Nach dieser Erklärung müssten die hellen Scheibchen, die uns als Zapfenmosaik erscheinen, allerdings grösser sein als dem Durchmesser der Zapfen in der Fovea entsprechen würde.

Abgesehen von den grossen Fehlerquellen, welche solchen Schätzungen, wie sie Nuel und Wolffberg vorgenommen haben, anhaften, sei erwähnt, dass Nuel in einem Durchmesser seiner gefässlosen Stelle nur hundert Kreise der Zapfenmosaik gefunden hat, während die anatomische Untersuchung (Max Schultze) 120 erwarten lässt. Die von Nuel ebenfalls hervorgehobenen Beobachtungsfehler lassen sich aber auch zugunsten der Uebereinstimmung der Zahl mit unserer Erklärung anführen.

Auch wird natürlich diese Mosaik sich anscheinend in derselben Richtung verschieben, wie die vor dem Auge bewegte Oeffnung. Ist unsere Ansicht richtig, dann müsste diese Bewegung allerdings geringere Excursionen zeigen als die Gefässfigur. Dass dies wirklich der

Fall ist, das geht daraus hervor, dass selbst jene Beobachter, die, wie Wolffberg, speciell mit der Untersuchung der Zapfenmosaik sich beschäftigt haben, hervorheben, wie schwierig es sei, ein richtiges Urtheil über die parallactische Verschiebung derselben zu gewinnen. Helmholtz sah zwar eine der Verschiebung des Lichtes entgegengesetzte Bewegung der chagrinierten Stelle im ganzen. Doch bezieht sich seine Angabe auf jene Methode, wo ein lichter Punkt auf der Sklera bewegt wird, ein Verfahren, bei dem man nicht die allerfeinsten Gefässe sehen kann. Auch kann es bei einer verschiedenen Excursion zweier in derselben Richtung sich bewegender Bilder sehr leicht den Anschein gewinnen, als ob jenes, welches sich langsamer verschiebt, sich zu dem schneller Bewegten in entgegengesetzter Richtung verschieben würde. Ferner glaube ich, dass das Resultat meiner Untersuchungen als besonders beweiskräftig anführen zu können, da bei mir die Gefässschlingen so nahe dem Fixationspunkte liegen und ich infolge dessen mit weitaus grösserer Sicherheit als viele andere die Richtung der parallactischen Verschiebung zu beurtheilen imstande bin. Endlich hat Olshausen (66) die Verschiebung mit einem fixen Nachbilde verglichen und konnte ganz zweifellos die mit den Bewegungen des Diaphragmas gleichsinnige Verschiebung feststellen.

Unsere Ansicht macht es leicht verständlich, warum man die Zapfenmosaik nur in der Mitte der Fovea centralis sieht. Es erklärt sich dies, abgesehen von der Wirkung der Foveola auf den Strahlenverlauf, auch durch die Verdünnung der Retina am Grunde der Fovea, welche zur Folge hat, dass die vorderen Netzhautschichten hier nicht als zarter Schleier (wie wir dies bei der ophthalmoskopischen Untersuchung sehen) vor der lichtempfindenden Schichte liegen.

Die hier vorgetragene Erklärung für die entoptische Wahrnehmung der sogenannten Zapfenmosaik scheint mir in der That so allen Anforderungen zu entsprechen, es scheint mir so wenig möglich, dabei an eine andere Structur als die genannte zu denken, dass ich diese entoptische Erscheinung selbst wieder als eine weitere Stütze für die Ansicht anführen möchte, dass in den Aussengliedern der Stäbchenzapfen die lichtempfindenden Stellen zu suchen sind.

Das grössere gitterartige Muster, das ich bei raschen Bewegungen des Diaphragmas auftauchen sehe, könnte vielleicht auf die stärkeren Stützfasern der Retina am Grunde der Fovea zurückgeführt werden.

Schlussbetrachtungen.

Den vorstehend mitgetheilten Untersuchungen lässt sich aber noch ein höheres Interesse abgewinnen.

Bekanntlich sind die Stäbchen und Zapfen nicht von allen als lichtpercipierende Schichte der Retina angesehen worden. In diesem Sinne sprachen sich vor Jahren Bidder und Blessig aus, von denen der letztere sogar nur die Opticusfasern als nervös erklärte. Viel später hat W. Krause (83) die Ansicht vertreten, dass Stäbchen und Zapfen mit den Müller'schen Radialfasern in Zusammenhang stehen und deren letzte Ausläufer darstellen, während die Sehnervenfasern an der äusseren Grenze der inneren Körnerschichte endigen sollen. In neuester Zeit endlich ist Borysikiewicz gegen die sonst allgemein angenommene Ansicht über die Natur der Stäbchen und Zapfen aufgetreten. Es heisst auf Seite 64 seiner wiederholt citierten Arbeit (31): „die Behauptung, dass die Stäbchen und Zapfen Endorgane der Nervenfasern sind, hat sich nicht bewährt.“ Nachdem Borysikiewicz es dann als wichtigstes Resultat seiner Untersuchungen bezeichnet hat, dass „die Stäbchen und Zapfen zweifellos eine directe Fortsetzung der Müller'schen Fasern sind“, heisst es ebenfalls Seite 64: „Insoweit also die Annahme berechtigt ist, dass das Stäbchenorgan mit der Lichtempfindung in irgend einer Beziehung stehe, muss dieselbe Annahme auch für die Müller'schen Fasern zugelassen werden.“ Man würde nun erwarten, dass Borysikiewicz die lichtpercipierende Schichte der Retina in anderen Theilen der Retina, etwa in den Körnerschichten suchen würde. Doch lesen wir ebenfalls auf derselben Seite, nur wenige Zeilen tiefer, den Satz: „Es bleibt also vorläufig keine andere Annahme zulässig, als die lichtempfindenden Stellen in der Region von der inneren bis über die äussere Körnerschicht hinaus, u. zw. innerhalb der Müller'schen Röhren zu suchen.“ Wenn Borysikiewicz einerseits die Stäbchen und Zapfen als Enden der Müller'schen Fasern ansieht und daraus schliesst, dass sie nicht die Endorgane der Nervenfasern sind, was berechtigt ihn dazu, die lichtempfindenden Stellen in den Müller'schen Röhren (so werden von ihm die Müller'schen Fasern genannt) zu suchen, deren Verbindung mit den Nervenfasern doch weder Borysikiewicz, noch sonst jemand behauptet oder nachgewiesen hat? Völlig unverständlich erscheint es ferner, wenn Borysikiewicz in dem zuletzt citierten Passus angibt, dass er die licht-

empfindenden Stellen „in der Region von der inneren bis über die äussere Körnerschichte hinaus, u. zw. innerhalb der Müller'schen Röhren" vermuthet. Verfolgt man die Müller'schen Röhren über die äussere Körnerschichte hinaus, so kommt man ja gerade nach den Untersuchungen von Borysikiewicz zu den Stäbchenzapfen, die nach diesem Autor die directe Fortsetzung der Müller'schen Fasern sind.

Andererseits haben aber zahlreiche Arbeiten seitens vieler Anatomen und Physiologen, deren Namen ich hier nicht zu nennen brauche, eine Menge triftiger Gründe für die Ansicht beigebracht, dass die Stäbchen und Zapfen die lichtempfindenden Theile der Retina sind, so dass es fast überflüssig erscheint, noch neue Beweise dafür ins Treffen zu führen. Dennoch möge es mir gestattet sein, hier einiges zu erwähnen, was sich aus den bereits beschriebenen entoptischen Beobachtungen und aus einem noch mitzutheilenden Versuche in dieser Richtung ergibt.

H. Müller (9) hat bereits die Aderfigur und deren parallactische Verschiebung bei Bewegungen der sie erzeugenden Lichtquelle als Beweis dafür herangezogen, dass die Lichtempfindung in der Stäbchenzapfenschichte erfolgt. H. Müller hat aber nur die grösseren Netzhautgefässe zu seinen Messungen und Berechnungen benützt. Bei der von ihm angewendeten Methode der Erzeugung der Aderfigur mittels Verschiebung eines Lichtpunktes auf der Sklerotica sieht man — wie dies auch von Becker (53) angegeben wird — ebenso wie bei der Bewegung einer Kerzenflamme vor dem Auge nur die grösseren Netzhautgefässe. Blickt man aber durch eine stenopaeische Lücke auf eine helle Fläche, dann kann man sich die feinsten Capillaren speciell in der Gegend der Macula zur Anschauung bringen.

Die von H. Müller gefundenen Maasse (0·17—0·32 *mm*) für die Entfernung der schattenwerfenden Gefässe von der lichtpercipierenden Schichte entsprechen auch nicht der Lage der feinsten, am weitesten chorioidealwärts gelegenen Capillaren, wie wir sie bei der anatomischen Untersuchung fanden. Ja H. Müller sagt ausdrücklich: „Bei dem allen dürften aber nur wenige Gefässe im gelben Flecke und seiner Umgebung näher oder ferner von den Zapfen liegen als 0·2—0·3 *mm* und jedenfalls nicht um sehr erhebliches." Dabei kann es sich unmöglich um die feinsten Capillaren handeln, welche sich ja noch bis zur Zapfenfaserschichte hin verästeln.

Da nun meine Augen, in denen die Capillaren so weit gegen die Mitte der Fovea hin vorrücken, sehr geeignet zur

Beobachtung und Messung der parallactischen Verschiebung der Gefässschatten sein mussten, so beschloss ich in dieser Richtung einige Versuche anzustellen. Zwar verspricht sich H. Müller von der Methode der entoptischen Beobachtung der Aderfigur durch Bewegung einer feinen Oeffnung vor dem Auge nur wenig, „da man, um eine etwas bedeutendere Verschiebung zu erhalten, grössere Bewegungen vor der erweiterten Pupille machen muss, dabei aber die unverrückte Fixation eines Punktes schwierig ist.“ Doch ist dies eben der einzige Weg, um sich die Capillaren in der Umgebung des Fixationspunktes zur Wahrnehmung zu bringen.

Es lässt sich nun die Verschiebung der Schatten dieser Capillarschlingen und deren Abstand von der lichtempfindenden Schichte in der folgenden Weise berechnen: Ich liess einen kleinen Apparat construieren, der aus einem in einer Führung beweglichen Schieber bestand, in welchem eine Oeffnung von 1·4 *mm* Durchmesser angebracht war. Die Excursion dieser Oeffnung bei den Bewegungen des Schiebers konnte durch Verstellen einer Schraube beliebig reguliert und gemessen werden. Hält man nun diesen Apparat vor das Auge oder befestigt ihn auf einem Stativ, so dass die Oeffnung in dem Schieber etwa im vorderen Brennpunkte des Auges, dessen Pupille durch Homatropin erweitert ist, liegt und blickt auf eine entfernte mit einer Theilung versehene helle Fläche, so lässt sich für eine bestimmte Excursion des Diaphragmas die Verschiebung des Gefässschattens auf der lichtempfindenden Schichte der Retina messen.

Als helle Fläche benützte ich eine matte Glasscheibe, die mit senkrechten, 1 *cm* von einander entfernten dunklen Strichen versehen war. In der Mitte eines dieser Striche war der Fixationspunkt durch einen dunklen Fleck markiert. Ausserdem war, um das Zählen der Striche leichter zu ermöglichen, der zweite Strich nach links von diesem Fleck etwas breiter gemacht. Diese matte Scheibe wurde von rückwärts durch eine mit einem Reflector versehene Lampe möglichst gleichmässig beleuchtet. Ich befand mich in einer Entfernung von 8 *m* von der matten Glasscheibe und bewegte das Diaphragma in horizontaler Richtung. Ich konnte nun auf diese Weise constatieren, dass bei einer Verschiebung des Diaphragmas von 2·9 *mm* der Schatten der dem Fixationspunkte zunächst gelegenen senkrecht verlaufenden Capillargefässe meines rechten Auges sich um nicht mehr als 1 *cm* verschob. Anfangs fand ich diese Verschiebung, so wie dies auch

H. Müller bemerkt, viel grösser, was wohl damit zusammenhängt, dass man unwillkürlich mit dem Auge den Gefässschlingen folgt. Es hat dies bei der blossen Beobachtung und auch bei der Messung der Entfernung zweier Gefässschatten, die natürlich immer gleich weit voneinander bleiben, keinen so grossen Einfluss als gerade hier. Dennoch konnte ich durch wiederholte Versuche feststellen, dass die scheinbare Verschiebung der Gefässschatten nicht über das erwähnte Maass hinausgieng. Es ergibt das eine Verschiebung des Schattens auf der Netzhaut = 0·018 *mm*. Es ist zu bemerken, dass bei einer grösseren Verschiebung des Diaphragmas die Beobachtung nicht mehr mit der wünschenswerten Sicherheit gemacht werden konnte. Zu der durch Messung gefundenen Verschiebung des Diaphragmas wurde nun noch der Durchmesser der Oeffnung addiert, da die am schiefsten einfallenden Strahlen einmal durch den nasalwärts gelegenen, in der anderen Endstellung aber durch den temporalwärts gelegenen Rand der Oeffnung bestimmt werden.

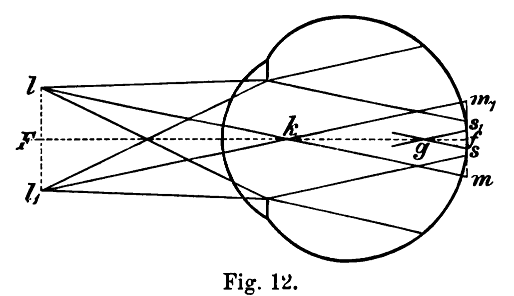


Fig. 12.

Befindet sich nun der nasale Rand der Oeffnung, wenn der Schieber am meisten gegen die Nase geschoben ist, in l (Fig. 12) und liegt der temporale Rand der Oeffnung dann, wenn der Schieber so weit als möglich schläfenwärts geschoben ist, in l_1, so ist durch die Linien l k m und l_1 k m_1 die Richtung der Strahlen im Glaskörper gegeben. l l_1 findet man, indem man zur Excursion des Diaphragmas (2·9 *mm*), den Durchmesser der Oeffnung (1·4 *mm*) addiert. Ist g ein Gefäss, welches in einer bestimmten Entfernung g f vor der lichtempfindenden Schichte der Retina liegt, so finden wir den Ort des Schattens dieses Gefässes auf der lichtempfindenden Schicht, wenn wir $g s \parallel k m$ und $g s_1 \parallel k m_1$ ziehen. s s_1 entspricht dann der Verschiebung des Gefässschattens auf der Retina. m m_1 lässt sich, da ja das Diaphragma in der vorderen Brennebene angenommen wird und somit F k = 20 *mm*, k f aber gleich 15 *mm* ist, leicht berechnen und es ist

für $l l_1 = 4{\cdot}3$ *mm*, $m m_1 = 3{\cdot}2$. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke F l k und g s f findet man dann, da $s f = 0{\cdot}009$ ist, $g f = 0{\cdot}08$ *mm*. Eine Zahl, die sehr gut mit den anatomischen Verhältnissen übereinstimmt.

Es ist selbstverständlich, dass diese Berechnung keinen Anspruch auf eine absolute Genauigkeit macht, ein Nachtheil, der übrigens auch den Berechnungen H. Müllers, wie er selbst angibt, anhaftet. Immerhin erscheint mir aber der vorstehende Versuch von Interesse, da die Berechnung hier für Gefässe ausgeführt wurde, welche schon infolge des anatomischen Baues der Fovea sehr nahe an der Stäbchenzapfenschicht liegen müssen, so dass schon hierdurch die Zahl jener Schichten, in welchen der Ort der Lichtempfindung zu suchen wäre, auf die äussere Faserschicht, äussere Körnerschicht und auf die Stäbchenzapfenschicht beschränkt wird. Die durch den Versuch gefundene Zahl entspricht aber vollkommen der im Präparate gefundenen Entfernung zwischen den Capillaren am Grunde der Fovea und der Stäbchenzapfenschicht.

Aber noch in anderer, noch genauerer Weise können wir dieser Frage nahe treten. Ich habe einen grösseren Nicol so an einem mit einer Kinnstütze versehenen Stativ befestigen lassen, dass er in verschiedenen Richtungen um seine Achse drehbar war, so dass der Polarisationsebene der von ihm durchgelassenen Strahlen eine beliebige Lage gegeben werden konnte. Es war ferner die Führung in welcher das Diaphragma zu verschieben war, derart an dem Nicol angebracht, dass sie um die Längsachse des Nicol gedreht werden konnte. So war es möglich, das Diaphragma stets senkrecht auf die Richtung der Polarisationsbüschel zu bewegen. Da die Polarisationsbüschel eine vergängliche Erscheinung sind, so musste natürlich der Nicol und in entsprechender Weise auch der Apparat mit dem Diaphragma öfter gedreht werden.

Brachte ich nun mein Auge hinter diesen Apparat, so dass die Oeffnung in dem Diaphragma etwa im vorderen Brennpunkte des Auges lag, so konnte ich gleichzeitig die Gefässschatten und die Haidinger-schen Büschel beobachten. Indem nun das Diaphragma in horizontaler Richtung verschoben wurde, wenn die Haidinger'schen Büschel vertical lagen und umgekehrt, gelang es festzustellen, dass die Haidinger'schen Büschel sich stets mit der Gefässschattenfigur bewegen.

Nun haben wir aber gesehen, dass die die Haidinger'schen Büschel erzeugende Schichte die äussere Faserschichte ist. Hinter derselben liegen nur mehr die äussere Körnerschicht und die Stäbchenzapfenschicht. Die ganz sicher nachweisbare Verschiebung der Haidinger'schen Büschel mit der Aderfigur kann nur dann erklärt werden, wenn zwischen der lichtempfindenden Schichte und jener Schichte, welche die Haidinger'schen Büschel hervorruft, noch ein gewisser Zwischenraum existiert. Die lichtempfindenden Stellen können also nicht in der der äusseren Faserschichte unmittelbar anliegenden äusseren Körnerschicht, sondern nur in der Stäbchenzapfenschicht gesucht werden.

Man könnte vielleicht erwarten, dass die Verschiebung der Haidinger'schen Büschel eine etwas geringere sei, als die der Aderfigur, da die Gefässe vor der äusseren Faserschichte liegen. Doch konnte ich dies nicht wahrnehmen. Die Erklärung dafür lässt sich leicht darin finden, dass die Haidinger'schen Büschel einerseits zu wenig scharf begrenzt sind, als dass man ein Zurückbleiben derselben gegen die Aderfigur constatieren könnte, andererseits liegen ja gerade die centralsten Capillarschlingen, um die es sich hier nur handeln kann, der äusseren Faserschichte unmittelbar auf, so dass eine verschiedene Excursion der Gefässfigur und der Haidinger'schen Büschel, selbst wenn diese letztere vollkommen scharf begrenzt gesehen würde, nicht zu beobachten wäre.

Nachtrag.

Als der Druck dieses Buches fast vollendet war, erschien eine neue Arbeit von Borysikiewicz: „Weitere Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut. Wien und Leipzig bei Fr. Deuticke.“ Obwohl ein Theil der darin gemachten Angaben schon in den früheren Publicationen des Autors enthalten und von mir im vorliegenden Buche bereits widerlegt sind, so muss ich mich doch noch mit dieser letzten Arbeit von Borysikiewicz beschäftigen, theils weil er einige seiner früheren Ansichten jetzt bedeutend modificiert hat, theils weil er meinen im Jahre 1891 veröffentlichten Untersuchungen über den Bau der Fovea entgegentritt und weil ich mich endlich auch mit dem, was Borysikiewicz als neue Resultate seiner Untersuchungen vorbringt, nicht einverstanden erklären kann.

Borysikiewicz hält auch jetzt noch „die Stäbchen und Zapfen mit den zugehörigen Fasern für eine Fortsetzung, beziehungsweise für die Endigung der Müller'schen Radialfaser.“ Wir vermissen aber bei der Begründung dieser Ansicht vollkommen die Verwendung aller neueren Färbungsmethoden. Borysikiewicz motiviert dies in der Einleitung folgendermaassen: „So wertvoll und unentbehrlich die Färbungsmethoden für die histologische Wissenschaft sind, dürfen wir von ihnen doch nicht mehr erwarten als eben die Färbung der Gewebe. Ob das gefärbte Präparat den thatsächlichen Verhältnissen im lebenden Organismus entspricht, darüber geben nur vollkommen gut conservierte Organtheile verlässlichen Aufschluss.“ Man würde darnach erwarten, dass solche dem Autor zur Verfügung gestanden seien. Doch sagt er selbst gleich darauf: „Ganz einwandfreie Conservierungsmittel besitzen wir nicht.“

Die Stäbchen, die der Autor im Jahre 1887 als einen Schlauch von 60 μ Länge und 6—7 μ Dicke bezeichnet, sind jetzt nur 2—2·5 μ breit. Stäbchen und Zapfen sollen gleich lang sein. Die beigedruckte ein Stäbchen darstellende Figur war aber — ebenso wie mehr als ein Drittel sämmtlicher Figuren — schon in der im Jahre 1887 erschienenen Schrift von Borysikiewicz enthalten und wird dort als eine Darstellung jener Formen der Stäbchen bezeichnet, wie sie „den Verhältnissen in vivo am nächsten stehen" — einer der sehr zahlreichen inneren Widersprüche, welche in dieser so wie in der ersten Arbeit von Borysikiewicz zu finden sind.

Bezüglich der sogenannten exponierten äusseren Körner gibt Borysikiewicz ein Citat aus einer Arbeit von Henle (siehe das folgende Literaturverzeichnis 44), das beweisen soll, dass Henle bereits im Jahre 1852 diese exponierten Körner gesehen haben soll. Henle beschreibt aber eiförmige Körperchen in den Zapfen, die hie und da in zwei Halbkugeln getheilt waren und sagt: „nur ausnahmsweise und undeutlich sah ich in den ovalen Körperchen oder deren halbkugelförmigen Hälften etwas, das sich wie ein geschlossenes Bläschen oder wie ein Kern ausnahm — ein Passus, der übrigens von Borysikiewicz selbst citiert wird, aber durchaus nicht dafür spricht, dass Henle Körner in den Zapfen gesehen hat.

In der Anmerkung 12 erwähnt Borysikiewicz zunächst, dass ihm, als er seine ersten Untersuchungen über die Retina im Jahre 1887 veröffentlichte, der Aufsatz von Stöhr über Zapfen mit vor der Limitans liegenden Kernen aus dem Jahre 1886 unbekannt geblieben war. Er citiert auch, dass Stöhr die Vermuthung ausgesprochen hat, es könne dieser Ortswechsel der Kerne mit den von Engelmann beobachteten Bewegungen der Zapfen im Zusammenhang stehen. Schliesslich sagt Borysikiewicz: „mit Beziehung auf die dargelegten Thatsachen muss ich daher die Priorität der Beobachtung, dass die äusseren Körner unter gewissen Einflüssen ihren Ort wechseln können, unbedingt für mich in Anspruch nehmen." Es könnte sich da doch nur darum handeln, dass Borysikiewicz das bewiesen hätte, was Stöhr vor ihm vermuthet hatte. Man wird aber vergeblich in den Schriften Borysikiewicz's nach diesem Beweise suchen.

Die Stäbchen und Zapfenfasern, zwischen denen Borysikiewicz keinen constanten Unterschied in der Dicke finden kann,

endigen nach der neuesten Darstellung Borysikiewicz's mit „einer eigenartigen Anschwellung an der äusseren Grenze der äusseren granulierten Schicht". Im Bericht über den Anatomencongress 1892 im anatomischen Anzeiger heisst es: „Nach M. Schultze, Merkel, Schwalbe u. a. endigen die Zapfenfasern an der Aussenseite der äusseren granulierten Schicht mit einer kegelförmigen Anschwellung. Aus Borysikiewicz's Präparaten ergibt sich, dass im Bereiche der Macula lutea, dicht über der äusseren granulierten Schicht, sich ein deutliches Stratum findet, welches aus einer Reihe cubischer Gebilde besteht, die in ihrer Mitte ein oder zwei dunkle Körnchen zeigen." Es ist also hier von keinem Zusammenhang dieser cubischen Gebilde mit den Zapfenfasern die Rede, sonst würde sich ja die ganze Entdeckung von Borysikiewicz darauf beschränken, dass die Zapfenfasern statt mit kegelförmigen mit cubischen Anschwellungen endigen. In der neuesten Arbeit von Borysikiewicz heisst es aber (Seite 25): „Früher habe ich die einzelnen Anschwellungen als Kerne mit Kernkörperchen aufgefasst, jetzt ändere ich meine ursprüngliche Ansicht dahin, dass die Anschwellung als eine mit einem Kerne versehene Zelle zu betrachten ist. Zu dieser Ueberzeugung gelangte ich hauptsächlich durch Beobachtung von Kerntheilungsfiguren an den beschriebenen Elementen." Auch hier fehlt aber jede Angabe darüber, ob sich diese Kerne mit Kernfärbemitteln färben liessen. Man muss wohl trotz der angeführten Beobachtung von Kerntheilungsfiguren diese Angabe verlangen, nachdem man auf der vorhergehenden Seite (24) den höchst sonderbaren Satz gelesen hat: „Die Anschwellung beginnt hier" (im Bereiche der Fovea) „in Form einer kleinen platten Zelle, die in der Mitte einen dunklen, scharf ausgebildeten **Punkt, gleichsam einen Kern** trägt." (!)

Auf Seite 35 heisst es: „Innerhalb der inneren Körnerschicht ist ein Radialfaserkern nicht vorhanden und auf der nächsten Seite schon behauptet Borysikiewicz: „Die inneren Körner sind in die H. Müller'sche Radialfaser eingebettet" (!). Die inneren Körner sollen sich ja innerhalb der Müller'schen Faser, die von Borysikiewicz auch als „Müller'scher Schlauch" bezeichnet wurde, und an der er „eine dichtere Hülle und einen weniger consistenten Inhalt unterscheidet" (Seite 37), unter Umständen verschieben können und so in die körnerlose Abtheilung der Stäbchen- und

Zapfenfasern gelangen können. Dies wären dann die „exponierten inneren Körner".

Das, was Borysikiewicz zum Schluss seiner Schrift über die Structur des gelben Fleckes schreibt, enthält ebenfalls zahlreiche überraschende Merkwürdigkeiten.

Zunächst bestimmt er den gelben Fleck „im anatomischen Sinne", also jene Stelle, an welcher die Ganglienschicht durch mehr als eine Reihe von Nervenzellen vertreten ist (S. 42). Da aber Borysikiewicz selbst angibt, dass von der Mitte der äusseren Begrenzung des Sehnerven im Bereiche einer 1 *mm* breiten, horizontal nach aussen verlaufenden Strecke eine zweireihige Ganglienzellenschicht nachzuweisen ist, so würde nach Borysikiewicz der gelbe Fleck bereits am Papillenrand beginnen. (!) Er selbst setzt freilich hinzu: „Allerdings ist es sehr fraglich, ob bei dieser Definition des gelben Fleckes der Ausdruck „gelb" noch zu rechtfertigen ist."

Wir erfahren ferner, dass die Zapfen der Macula „gegen die Mitte des gelben Fleckes allmählich die Merkmale der peripheren Stäbchen annehmen, also zu Stäbchen werden" (S. 47). Während Borysikiewicz aber in seiner ersten Arbeit den bereits erwähnten Ausspruch gethan hat, dass er die Stäbchen und Zapfen „sowohl im anatomischen, als im physiologischen Sinne für gleichwertig" hält, heißt es jetzt (S. 47): „Die Benennung dieser Elemente" (in der Mitte der Macula) „mit dem Ausdrucke Stäbchen oder Zapfen hat bloss scheinbar eine untergeordnete Bedeutung. Haben doch viele Histologen und Physiologen die Neigung, die Stäbchen als lichtempfindende und die Zapfen als farbenpercipierende Elemente aufzufassen." Dann heisst es (ebenfalls Seite 47): „Für mich besteht seit langer Zeit, wenigstens in Betreff der Peripherie der Netzhaut die wichtigste morphologische Differenz zwischen Stäbchen und Zapfen darin, dass das breitere Innenglied des Zapfens in seinem Innern regelmässig das sogenannte exponierte äussere Korn trägt." Man blättere zurück bis S. 9 und man wird Folgendes von den Zapfen zu lesen bekommen: „Am äusseren Ende des Innengliedes ist, wie am Stäbchen gleichfalls ein Kern mit Kernkörperchen, und zwar **häufiger** wie am Stäbchen nachweisbar. Im Innern des Zapfenkörpers findet sich **regelmässig** ein Körper, welcher vom morphologischen Standpunkte in jeder Beziehung dem äusseren Korn gleicht, und den ich „exponiertes äusseres" Korn nenne."

Unter den „Ansichten einiger Autoren" erwähnt Borysikiewicz, dass ich in drei Fällen (veröffentlicht in den „Lichtreflexen der Netzhaut") an der äusseren Körnerschicht ähnliche Verhältnisse wie Wadsworth gefunden habe. Daraus würde jedermann schliessen, es sei meine Ansicht, dass die äussere Körnerschicht in der Mitte der Fovea verdickt sei. Man braucht aber nur die Anmerkung 39 bei Borysikiewicz zu lesen und man wird finden, dass gerade in jenen meiner Fälle, wo die Retina am besten conserviert war, die Schnitte senkrecht zur Netzhautoberfläche und entsprechend dünn waren, eine Verdünnung der äusseren Körnerschichte in der Mitte der Fovea zu finden war.

Ueber die Form der Centralgrube schreibt Borysikiewicz (S. 54), dass „dieselbe eine nach vorne concave Fläche darstellt und nirgends eine Böschung im Sinne von Kuhnt und Dimmer und ebensowenig eine Foveola fundi im Sinne von Kuhnt und Dimmer aufweist. Minimale Depressionen kommen mitunter an den verschiedensten Stellen der Fovea vor, dürfen aber nicht als Zustände betrachtet werden, die den natürlichen Verhältnissen entsprechen. An einem Auge war der Fundus foveae (Fig. 62) eben; diese Form ist sicher gleichfalls ein Resultat der härtenden Flüssigkeit; ich habe dieselbe an den besterhaltenen Präparaten nie gefunden und auch nie an gesunden Augen, welche unmittelbar nach der Enucleation zu diesem Zwecke bei starker Loupenvergrösserung angeschaut wurden; immer bot die Fovea eine quer elliptische, gleichmässig concave Oberfläche dar".

Durch Betrachtung der Retina von der Fläche mit der Loupe sind diese Verhältnisse aber überhaupt nicht zu eruieren, sonst hätte man sie schon lange gekannt. Ein Blick ferner auf die Figuren 58, 59, 60, 61, 62, 63 von Borysikiewicz lehrt, dass Borysikiewicz Präparate vor sich gehabt hat, in denen die Fovea schlecht conserviert war. Auch in dem Falle, welcher die Figur 57 darstellt und wo die Netzhaut besser erhalten war, war die Fovea ganz bestimmt durch dieselben Vorgänge, wie ich sie im anatomischen Theile dieses Buches näher beschrieben habe, in ihrer Gestalt verändert. Die von Borysikiewicz verwendeten Härtungsflüssigkeiten ($^1/_{10}$% Chromsäure, $3^1/_2$% Salpetersäure, Müller'sche Flüssigkeit und $^1/_2$—1% Ueberosmiumsäurelösung) sind eben mit Ausnahme der $3^1/_2$% Salpeter-

säurelösung nicht zur Fixierung der Fovea geeignet. Aber auch bei Anwendung der Salpetersäurelösung schrumpft die Fovea oft bedeutend zusammen, wie Fig. 59 bei Borysikiewicz zeigt.

Die hier hervorgehobenen Unrichtigkeiten und Widersprüche sind übrigens nicht die einzigen, welche die neueste Arbeit von Borysikiewicz enthält. Wer sich die Mühe nehmen will, dieselbe durchzulesen, wird noch zahlreiche andere finden, die ich hier, als zu dem in meinem Buche behandelten Thema in keiner directen Beziehung stehend, nicht erwähnt habe.

Literaturverzeichnis.

1. Hulke, On the anatomy of the fovea centralis of the human retina. Philosophical transactions vol. 157, 1867.

2. Max Schultze, Zur Anatomie und Physiologie der Retina, M. Schultzes Archiv. Bd. II. 1866.

3. F. Merkel, Ueber die Macula lutea des Menschen und die Ora serrata einiger Wirbelthiere, Leipzig 1870.

4. O. F. Wadsworth, The fovea centralis in man. Beiträge zur Ophthalmologie, Fr. Horner gewidmet, 1881.

5. Kuhnt, Ueber den Bau der Fovea centralis des Menschen. Sitzungsberichte der Versammlungen der ophthalmologischen Gesellschaft in Heidelberg, 1881.

6. G. Schwalbe, Lehrbuch der Anatomie des Auges, 1887.

7. F. Dimmer, Die ophthalmoskopischen Lichtreflexe der Netzhaut nebst Beiträgen zur normalen Anatomie der Netzhaut. Wien 1891.

8. Michaelis, Ueber die Retina, besonders über die Macula lutea und das Foramen centrale. Verhandlungen der Leopoldin.-Carolin. Akademie der Naturforscher. 1842, 20. Bd.

9. H. Müller, Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Retina des Menschen und der Wirbelthiere. Beckers Sammlung, Seite 52.

10. Henle, Eingeweidelehre. 1875.

11. A. Schaper, Zur Histologie der menschlichen Retina, speciell der Macula lutea und der Henle'schen Faserschicht. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. LXI.

12. M. Schultze, Die Retina in Strickers Handbuch der Gewebelehre, 1871.

13. G. Schwalbe, Die Retina in Graefe-Saemisch, Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Bd. I, 1874.

14. Kuhnt, Histologische Studien der menschlichen Netzhaut. Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften XXIV, 1890.

15. A. Dogiel, Die Neuroglia der Retina des Menschen. Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. XLI, 1892.

16. A. Dogiel, Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen, II. Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. XL, 1892.

17. J. Henle und F. Merkel, Ueber die sogenannte Bindesubstanz der Centralorgane des Nervensystems. Zeitschrift für rat. Medicin, 3. R. Bd. 34, 1869.

18. Boll, Die Histologie und Histogenese der nervösen Centralorgane. Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten. Bd. IV, 1873.

19. J. Michel, Ueber die Ausstrahlungsweise der Opticusfasern in der menschlichen Retina. Festschrift zu Ehren Ludwigs, 1874.

20. W. Müller, Ueber die Stammesentwicklung des Sehorganes der Wirbelthiere. Festschrift zu Ehren Ludwigs. 1874.

21. A. Dogiel, Ueber die Retina des Menschen. Internationale Monatsschrift für Anatomie und Histologie von Krause, Bd. I, 1884.

22. Schiefferdecker, Studien zur vergleichenden Histologie der Retina. Archiv für mikroskopische Anatomie, XXVIII. Bd. 1886.

23. Ferrucio Tartuferi, Sull' anatomia della retina. Internationale Zeitschrift für Anatomie und Physiologie von Krause, Bd. IV, 1887.

24. A. Dogiel, Ueber die nervösen Elemente in der Retina des Menschen. Archiv für mikroskopische Anatomie, Bd. XXXVIII, 1891.

25. Ramony Cajal, Neue Darstellung vom histologischen Bau des Centralnervensystems. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1893, Anatomische Abtheilung, V. und VI. Heft.

26. E. Kallius, Untersuchungen über die Netzhaut der Säugethiere. Anatomische Hefte von Merkel und Bonnet, X. Heft, 1894.

27. Bergmann, Zur Kenntnis des gelben Fleckes der Netzhaut. Zeitschrift für rationelle Medicin, 1854.

28. J. Henle, Weitere Beiträge zur Anatomie der Retina. Göttinger Nachrichten, 1864.

29. Merkel, Ueber die menschliche Retina. Archiv für Ophthalmologie XXII. Bd. 4, 1876.

30. Borysikiewicz, Congress der anatomischen Gesellschaft 1892. Anatomischer Anzeiger 1892.

31. Borysikiewicz, Untersuchungen über den feineren Bau der Netzhaut. Wien, 1887.

32. Chievitz, Untersuchungen über die Area centralis retinae. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1889.

33. Schaffer, Die Färbung der menschlichen Retina mit essigsaurem Hämatoxylin. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. XCIX, Abth. III, 1890.

34. Welcker, Untersuchungen der Retinazapfen und des Riechhautepithels bei einem Hingerichteten. Zeitschrift für rationelle Medicin. Bd. XX, 1863.

35. Ph. Stöhr, Beiträge zur mikroskopischen Anatomie des menschlichen Körpers. Verhandlungen der physik.-medic. Gesellschaft in Würzburg. XX. Bd., 1887.

36. Solger, Demonstration im Greifswalder medicinischen Vereine. 2. November 1889. Deutsche medicinische Wochenschrift XVI, 1890, Nr. 10.

37. J. H. Chievitz, Die Area und Fovea centralis beim menschlichen Foetus. Internationale Zeitschrift für Anatomie und Physiologie, 1887, IV. Bd.

38. J. H. Chievitz, Ueber das Vorkommen der Area centralis retinae in den vier höheren Wirbelthierclassen. Archiv für Anatomie und Physiologie, Anat. Abtheilung, 1891.

39. J. W. Barett, The distribution of blood vessels in the retina of mammals. Journ. of physiol. VII. p. 230. 1886. Citiert nach Nagels Jahresbericht für Ophthalmologie.

40. Kölliker, Ueber einige an der Leiche eines Hingerichteten angestellte Versuche und Beobachtungen. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie. Bd. III, 37.

41. Max Schultze, Ueber den gelben Fleck der Retina. Bonn, 1866.

42. Schmidt-Rimpler, Die Macula lutea, anatomisch und ophthalmoskopisch. Archiv für Ophthalmologie, XXI. 3, 1875.

43. Kühne, Untersuchungen aus dem physiologischen Institute in Heidelberg. Bd. II.

44. Henle, Versuche und Beobachtungen an einem Enthaupteten. Zeitschrift für rationelle Medicin, 1852.

45. Dittrich, Gerlach und Herz, Anatomische Beobachtungen und physiologische Versuche an den Leichen von zwei Hingerichteten. Prager Vierteljahresschrift, 1851.

46. Preyer, Ueber anomale Farbenempfindungen und physiologische Grundfarben. Pflügers Archiv, I, 1868.

47. Hering, Ueber individuelle Verschiedenheiten des Farbensinnes. Lotos, neue Folge, Bd. VI, 1885.

48. M. Sachs, Ueber die specifische Lichtabsorption des gelben Fleckes der Netzhaut. Pflügers Archiv. L, 1891.

49. Hering, Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen. Pflügers Archiv, LIV, 1893.

50. Boll, Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Archiv für Anatomie und Physiologie, 1877.

51. D. P. Johannides, Die gefässlose Stelle der menschlichen Retina und deren Verwertung zur Bestimmung der Ausdehnung der Macula lutea. Archiv für Ophthalmologie, XXVII, 2.

52. Th. Leber. Bemerkungen über das Gefässystem der Netzhaut in der Gegend der Macula. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXVII, 2.

53. O. Becker, Die Gefässe der menschlichen Macula lutea, abgebildet nach einem Injectionspräparate von Heinrich Müller. Graefes Archiv für Ophthalmologie. XXVII, 1.

54. G. Denissenko, Einige Beobachtungen über die Gefässe in der Fovea centralis der Netzhaut des Menschen. Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften, 1880.

55. Gerlach jun., Ueber die Gefässe der Macula lutea. Sitzungsberichte der physik.-medicinischen Gesellschaft zu Erlangen, 1881.

56. v. Reuss, Notiz über die Netzhautgefässe im Bereiche der Macula lutea bei Embolie der Centralarterie. Archiv für Ophthalmologie, XXVIII, 1.

57. Parent, De la region de la macula. Recueil d'ophthalmologie, 1881.

58. Mayershausen, Noch einmal die gefässlose Stelle der menschlichen Retina. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXIX, 1.

59. Wolffberg, Die entoptische Wahrnehmung der Fovea centralis und ihrer Zapfenmosaik. Archiv für Augenheilkunde, XVI, 1886.

60. Nuel, De le vision entoptique de la fovea centralis. Annales d'occulistique. T. XCI, 1884.

61. Helmholtz, Physiologische Optik. II. Auflage.

62. Ruete, Lehrbuch der Ophthalmologie. I, S. 276.

63. G. Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorganes. Leipzig 1854.

64. A. Burow, Der gelbe Fleck im eigenen Auge sichtbar. Archiv für Anatomie und Physiologie von Johannes Müller, 1851.

65. H. Müller, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Netzhautgefässe, insbesondere als Beweismittel für die Lichtperception durch die nach hinten gelegenen Netzhautelemente. Beckers Sammlung der Schriften H. Müllers, S. 27.

66. A. Olshausen. Entoptische Untersuchung eines centralen Blendungsscotoms etc. Inaug. Dissert. Halle 1885.

67. W. Haidinger, Ueber das directe Erkennen des polarisierten Lichtes. Poggendorfs Annalen, Bd. 63, 1844.

68. Moigno, Sur une proprieté singulaire de la lumière polarisée. Comptes rendus T. XXII, 1846.

69. Silbermann, Essai d'explication des houppes etc. Comptes rendus T. XXIII, 1846.

70. Jamin, Die Haidinger'schen Polarisationsbüschel. Poggendorfs Annalen, Bd. 74, 1849.

71. Haidinger, Einige neuere Ansichten über die Natur der polarisierten Büschel. Poggendorfs Annalen, Bd. 96, 1855.

72. v. Erlach, Mikroskopische Beobachtungen. Ueber organische Elementartheile im polarisiertem Lichte. Müllers Archiv für Anatomie und Physiologie, 1847, p. 313.

73. Geigel, Sitzungsberichte der physik.-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg und Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge. XXXIV, S. 347.

74. Valentin, Zeitschrift für rationelle Medicin, Bd. XIV, 1862.

75. V. v. Ebner, Untersuchungen über die Anisotropie organisierter Substanzen. Leipzig 1882.

76 Apathy, Nach welcher Richtung muss die Nervenlehre reformiert werden? Biologisches Centralblatt, 9. Bd., 1890.

77. Ambronn, Das optische Verhalten markhaltiger und markloser Nervenfasern. Berichte über die Verhandlungen der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch - naturwissenschaftliche Classe, 1890. Sitzung vom 1. December 1890.

78. Ewald, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs. Untersuchungen aus dem Heidelberger physiolog. Institut. II. Bd.

79. Rampoldi, Sopra un fenomeno subjeftivo della visione. Annali. Oftalmologia. XVIII, p. 487. n. Nagels Jahresbericht für Augenheilkunde.

80. S. Exner, Ueber einige neuere subjective Gesichtserscheinungen. Pflügers Archiv. Bd. I, 1868.

81. G. Mayershausen, Einiges über den Maxwell'schen Fleck. Graefes Archiv für Ophthalmologie, XXVIII, Bd. 2.

82. Czermak, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Stäbchen- und Zapfenschicht (Membrana Jacobi retinae). Verhandlungen der k. k. Akademie der Wissenschaften. Bd. 41, 1860.

83. W. Krause, Die Membrana fenestrata, Leipzig. 1868.

Erklärung der Tafel.

Fig. 1. Horizontaler Durchschnitt durch die Mitte der Fovea. Präparat in $3^{1}/_{2}$ % Salpetersäure fixiert, in Alkohol nachgehärtet und in Celloidin geschnitten. Färbung in Alauncarmin-Ammoniakcarmin, eingebettet in Kali aceticum. Vergrösserung 140.

Fig. 2. Horizontaler Durchschnitt durch die Mitte der Fovea. Präparat in Flemming'scher Lösung fixiert, in Alkohol nachgehärtet, in Paraffin geschnitten. Färbung mit Safranin. Eingebettet in Canadabalsam. Vergrösserung 140.

In den Präparaten, nach denen Fig. 1 und 2 gezeichnet sind, war im Bereich der Foveola an der Aussenfläche der Retina eine kleine Concavität. In der Figur ist die Retina in ihre natürliche Lage zurückgelegt.

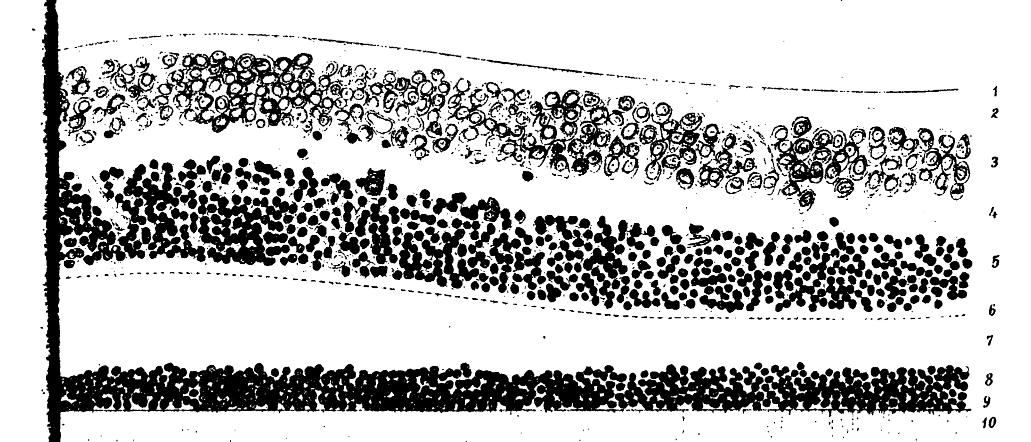
Fig. 3. Zapfenfaserschicht, äussere reticuläre Schicht und einige Elemente der äusseren gangliösen Schicht. Die Zapfenfasern sind bei a in ihrer Verbindung mit den Zapfenfaserkegel, bei b, c und d in verschiedenen Abständen von diesen abgerissen, bei e ist ein Zapfenfaserkegel auch mit einem, kernkörperchenähnlichen Gebilde dargestellt. Härtung in Flemming'scher Lösung.

Fig. 4. a gut erhaltener Zapfenfaserkegel mit Dogiel'schen Klümpchen b und c verbildete Zapfenfaserkegel vom Dogiel'schen Klümpchen abgelöst.

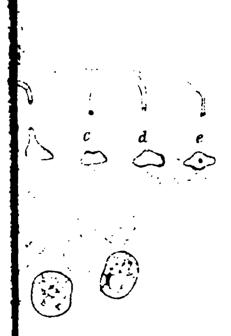
Fig. 5. a Zapfen, b Stäbchen, c gut erhaltener Zapfen mit Kern, d kernhaltiger Zapfen mit Vacuole, e kernhaltiger Zapfen, die Spitze abgerissen, f Zapfen aus der Mitte der Fovea.

Die Fig. 3, 4 und 5 sind mit Zeiss' apochromat. Object. 3 *mm* Apert. 1,4 und Compensationsocular Nr. 18, bei Vergrösserung 1000 gezeichnet.





3.



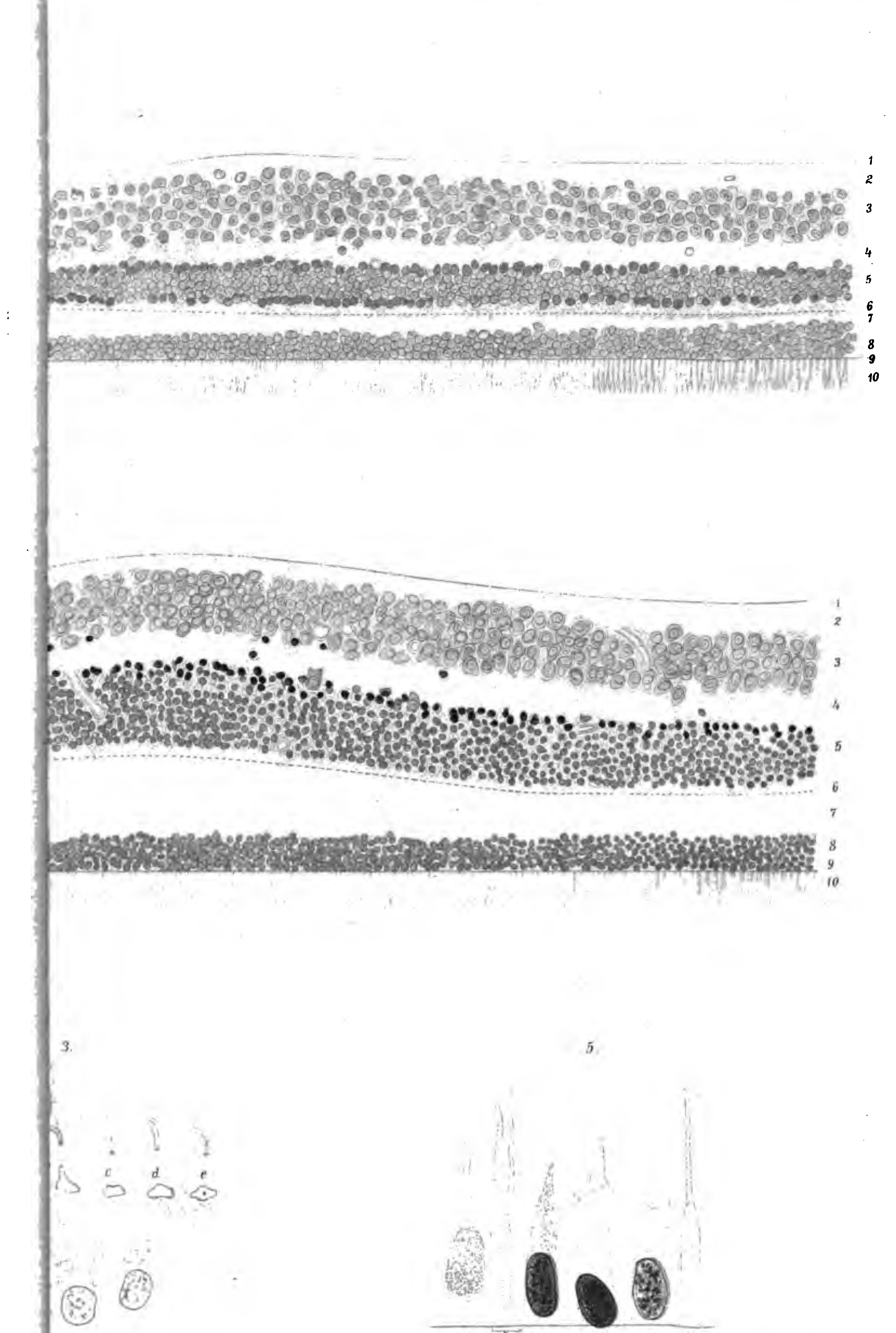


5.



..nz Deuticke in Wien

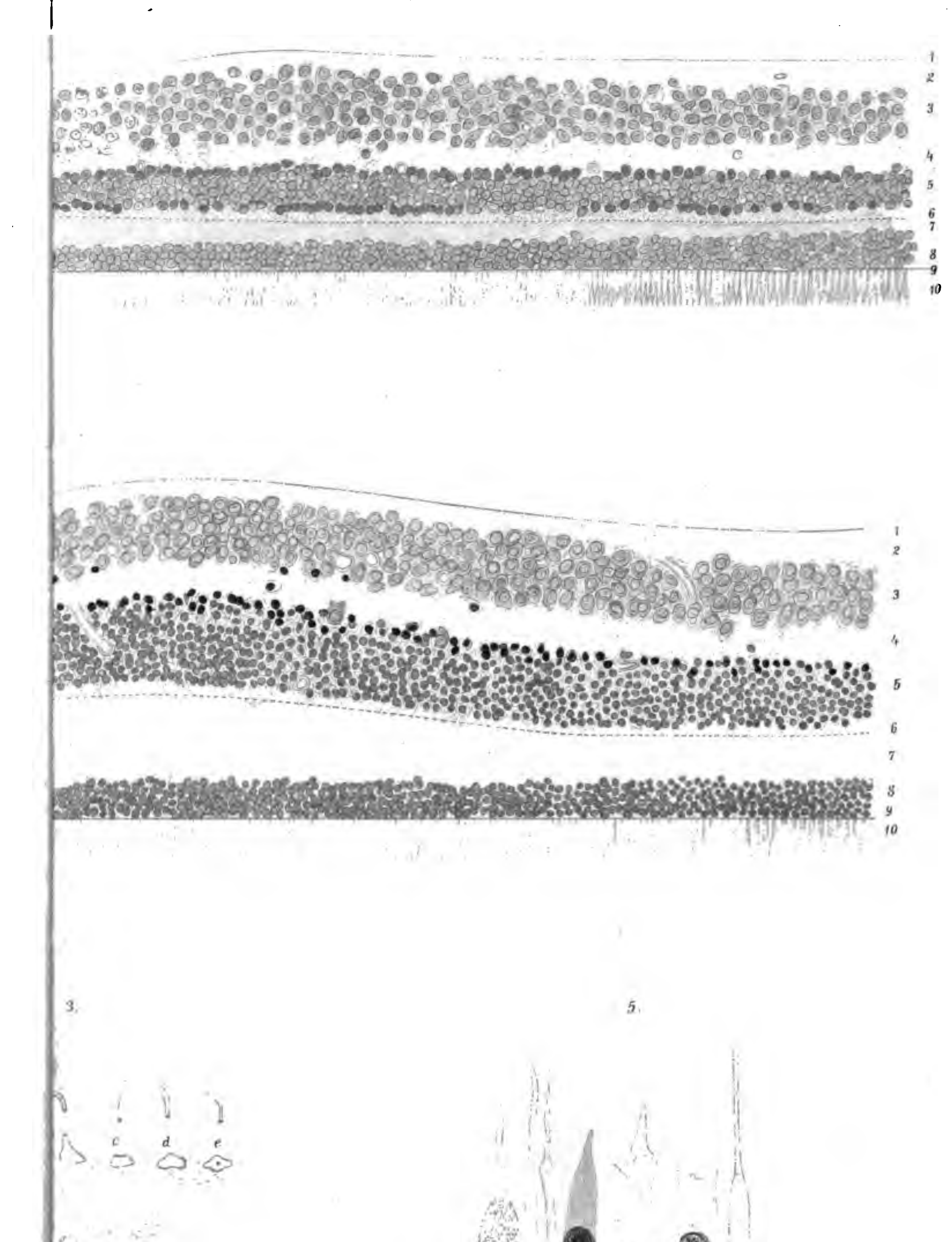
Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.



nz Deuticke in Wien

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.





anz Deuticke in Wien

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

nen:

en Medicin.

Atlas

graphie und Autotypie.

d-Atlas

r.

Wien.

32 Tafeln u. Text. 1894.

ΑΚΕΣ

ΩΝ.

2. Auflage. Preis M. 2.—.

Schriftscalen in hebräischer Sprache.

2. Auflage. Preis M. 2.—.

Scala dei caratteri

3. edizione. Preis M. 2.—.

Wzory druku do użytku lekarzy

trudniących się chorobami oczu.

Preis M. 2.—.

Escalla de numeros

(portugiesisch).

Preis M. 1.—.

Schriftscalen in russischer Sprache.

2. Auflage. Preis M. 2.—.

Escala de numeros

(spanisch).

Preis M. 1.—.

Lehrbuch der Augenheilkunde.

Bearbeitet von

Dr. Adolf Vossius,

o. ö. Professor der Ophthalmologie und Director der Augenklinik an der Universität Giessen.

Mit 214 Figuren im Text und 1 Durchschnitt des Auges. 2. vermehrte und verbesserte Auflage. 1892. Preis M. 15.—, geb. M. 17.50.

Druck v. Rudolf M. Rohrer, Brünn.



tomount
mphlet
inder
ord Bros.
Makers
ton, Calif.
AN. 21, 1908
Q5
D58
1894
Dimmer, Friedrich
Beiträge zur Anat.
& Phys. der Macula
lutea.
NAME 59839
DATE DUE

